



Universitat
Autònoma
de Barcelona



**escola
d'enginyeria**

ESTUDI DE COMPORTAMENTS SOCIALS D'EIXAMS ROBÒTICS AMB APLICACIÓ A LA NETEJA D'ESPAIS NO ESTRUCTURATS

Memòria del projecte de final de carrera corresponent als
estudis d'Enginyeria Superior en Informàtica presentat per
David López Nonell i dirigit per Lluís Ribas Xirgo.

Bellaterra, 22 de juny de 2010

El firmant, Lluís Ribas Xirgo, professor del Departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de la Universitat Autònoma de Barcelona

CERTIFICA:

Que la present memòria ha sigut realitzada sota la seva direcció per David López Nonell

Bellaterra, 22 de juny de 2010

Firmat:

Índex

1	Introducció	1
1.1	Context del problema	1
1.2	Objectius	3
1.3	Planificació temporal	4
1.4	Organització de la memòria	8
2	Estat de l'art	9
2.1	Intel·ligència d'eixams	10
2.1.1	La intel·ligència d'eixams a la natura	10
2.2	Eixams de robots	11
2.2.1	Propietats dels sistemes multi-robot	12
2.2.2	Aplicacions dels sistemes multi-robot	12
2.3	El joc del Red&Blue	13
3	El robot	15
3.1	iRobot Roomba	15
3.2	iRobot Scooba	16
3.3	iRobot Create	17
3.4	Característiques	18
4	Simulador	21
4.1	Modificacions respecte la versió anterior	21
4.1.1	Adaptació del joc de Red&Blue a la neteja de superfícies	21
4.1.2	Escenaris	21
4.1.3	Màquina d'estats	23

4.2	Algorismes de moviment	24
4.3	Configuració del robot	25
4.4	Distribució dels punts	25
4.5	Distribució dels robots	26
4.6	Configuració de l'entorn	27
4.6.1	Configuració de l'escenari	27
4.6.2	Configuració dels robots	28
4.7	Tests realitzats	30
4.8	Resultats	31
4.8.1	Estratègies de cerca	32
4.8.2	Distribució dels robots	34
4.8.3	Distribució dels punts	37
5	Conclusions	39
5.1	Treball realitzat	39
5.2	Anàlisi de resultats i conclusions	40
5.2.1	Estratègies de cerca	41
5.2.2	Distribució de robots	42
5.2.3	Distribució de punts	42
5.2.4	Conclusions	43
5.3	Valoració final	43
	Bibliografia	45

Índex de figures

1.1	Diagrama de Gantt	7
3.1	iRobot Roomba	16
3.2	iRobot Scooba	16
3.3	iRobot Create	18
4.1	Escenari ETSE	22
4.2	Escenari magatzem	22
4.3	Màquina d'estats	23
4.4	Algorismes de moviment aleatori	25
4.5	Distribució dels punts	26
4.6	Menú de principal del simulador	27
4.7	Menú de configuració de l'escenari	28
4.8	Menú de configuració dels robots	29
4.9	Gràfiques de resultats per l'estratègia de cerca aleatòria	32
4.10	Gràfiques de resultats per l'estratègia de cerca amb atracció a zones d'alt gradient	33
4.11	Gràfiques de resultats per a la distribució de robots aleatòria	34
4.12	Gràfiques de resultats per a la distribució de robots normal	35
4.13	Gràfiques de resultats per distribució de robots a prop dels obstacles	35
4.14	Gràfiques de resultats per a la distribució de punts aleatòria	37
4.15	Gràfiques de resultats per a la distribució de punts depenent de l'escenari	37

Índex de taules

3.1	Comparativa ZigBee vs. Bluetooth	19
4.1	Elements i consum de cada estat del robot	30

Capítol 1

Introducció

La intel·ligència d'eixams [7] és una branca emergent de la intel·ligència artificial que està agafant molta força en els últims temps, gràcies, en gran part, a les múltiples aplicacions potencials que dona la combinació amb robots [2]. Els sistemes d'intel·ligència d'eixams la formen principalment un gran nombre d'agents relativament simples dissenyats de manera que s'obté un comportament col·lectiu a partir de les interaccions locals entre agents i entre els agents i l'entorn. Com que aquest comportament es basa en sistemes descentralitzats i auto-organitzatius, no hi ha cap element central que controli als altres, sinó que cada individu pren les seves pròpies decisions i que, davant qualsevol 'obstacle' per arribar a l'objectiu final, la interacció dels individus fa que el sistema intenti evitar-lo sense rebre ordres de cap element extern.

Es coneix com a comportament social aquesta interacció entre individus de la mateixa espècie. En la intel·ligència d'eixams es pretén emular el comportament social de certes espècies d'insectes, com el de les formigues, les abelles o les termites. En el cas particular d'aquest projecte, aquests individus seran robots i, per tant, el comportament social que s'observarà serà com la comunicació entre els diferents robots porta a una sèrie de decisions sorgides d'aquesta comunicació i de l'observació de l'entorn, destinades a solucionar el problema que es descriurà tot seguit.

1.1 Context del problema

Una vegada introduïda de manera molt simple què és la intel·ligència d'eixams i la relació que té amb el terme comportament social, parlarem de l'escenari on aplicarem tots aquests coneixements.

El problema que es planteja està emmarcat en la neteja de superfícies per part d'un nombre determinat de robots. L'escenari tipus que es tractarà són magatzems o oficines, on tots ells poden tenir obstacles afegits fora de les parets com podrien ser taules, cadires, papereres, estanteries, portes, etcètera. Ens trobem dins d'un entorn estructurat on els elements són a posicions més o menys fixes i, per tant, podríem dir que l'entorn és estàtic, però el moviment dels robots el converteix en un entorn dinàmic. Es considera que els escenaris són netejats diàriament, de manera que la possibilitat que hi hagi zones amb un alt nivell de brutícia és baixa. En cap cas es consideraran espais exteriors on ja s'haurien de tenir en compte agents externs com la climatologia o que l'espai a netejar presenti una superfície heterogènia.

Hi ha diversos robots de neteja autònoms per aquest tipus de superfícies com podria ser l'IntelliBOT IV-800 [8]. Aquest tipus de robots costen entre 25000 i 30000 euros. El fet que substitueixin al personal de neteja fa que aquest preu no sigui significativament elevat. Per contra, ens trobem davant de robots d'unes dimensions que li compliquen l'accés a zones com l'espai que hi ha sota de les cadires, estanteries o taules. Cal tenir en compte que l'IntelliBOT té unes dimensions de 149 x 48 x 108 cm. Per altra banda, hi ha robots de neteja autònoms, com el Roomba i el Scooba, del fabricant iRobot [9], que tenen unes dimensions molt més reduïdes (50 x 44 x 12 cm) i un cost d'aproximadament 300 euros, que són capaços d'accedir a aquestes zones i, per tant, d'abastar una àrea de neteja més elevada. Per contra, en tenir unes dimensions tan reduïdes, la capacitat de neteja i d'autonomia dels robots és inferior a la de robots com l'IntelliBOT. Per aquest motiu, la neteja d'una superfície de grans dimensions és una tasca gairebé impossible d'assolir amb un sol robot, i més si es vol acotar la neteja de la superfície a les hores en que no hi ha ningú a la oficina o magatzem (principalment en horari nocturn, de les 10 de la nit a les 6 del matí).

Volem disposar d'un entorn bàsic per simular el cas d'estudi proposat, i on poder estudiar el comportament social d'un eixam de robots. La solució que es proposa en aquest projecte és la d'utilitzar molts robots de neteja de dimensions reduïdes com els del fabricant iRobot, tot inspirant-se en la teoria d'intel·ligència d'eixams, de manera que els robots desenvolupin la tasca que tenen assignada (escombrar o fregar) d'una forma eficient tant en termes de temps com de consum energètic. Aquests robots duran una sèrie d'algorismes de moviment i de reconfiguració, que seran capaços d'utilitzar lliurement i que ells mateixos podran determinar què fer davant cada situació mitjançant la interacció amb

altres robots.

1.2 Objectius

Ens trobem davant un problema concret i, per solucionar-lo, disposem d'un nombre de robots relativament senzills que volem que realitzin una tasca col·lectiva comuna: netejar la superfície on es troben. Aquests robots formaran un sistema descentralitzat i auto-organitzatiu (hi ha aplicacions on s'utilitza un sistema centralitzat), és a dir, no hi haurà cap robot central que dictamini què ha de fer cada robot, sinó que cadascú prendrà les decisions en funció d'uns algorismes de comportament determinats. Per altra banda, els robots han de ser capaços de comunicar-se entre ells ja que han de poder-se reprogramar i actualitzar variables de control comunes, utilitzades principalment per resoldre situacions de *deadlock*, com podria ser que dos robots vulguin netejar la mateixa zona i no disposin d'una lògica que determini qui la neteja i qui no. Aquestes variables seran la IP del robot i un identificador per saber quina acció de la màquina d'estats s'està realitzant. També s'han de tenir en compte paràmetres com l'energia i el cost dels robots. Pel que fa a l'energia, han de tenir un consum suficientment baix perquè la vida de la bateria sigui llarga, de manera que puguin operar el temps suficient com per poder veure el comportament desitjat, ja que en molts casos el comportament al que es vol arribar pot trigar molt en aparèixer.

Per a la realització d'estudis amb eixams de robots, és necessari un nombre determinat de robots que, en molts casos, supera la desena (per no dir la centena). Per aquest motiu els robots no han de ser cars, ja que si el rendiment del conjunt no és elevat, la relació cost-rendiment es veuria afectada i potser valdria la pena pensar en un altre tipus de robot per realitzar la tasca. Un cop el robot compleix les característiques explicades al paràgraf anterior, i un cop tingui les dades necessàries en memòria, és podrà passar al estudi del comportament d'un eixam de robots en el context de la neteja de superfícies. Aquests estudis ens permetran treure paràmetres com el nombre de robots necessaris per escombrar i fregar l'escenari en un temps i amb un consum determinats, de manera que puguin servir com una innovació i/o possible alternativa als altres robots de neteja anteriorment esmentats. Per tant, l'objectiu principal d'aquest projecte és la d'estudiar la possible aplicació de la teoria d'intel·ligència d'eixams en un sistema de robots per un problema de neteja de superfícies i com aquests robots es comporten socialment davant els problemes sorgits. Dins d'aquest objectiu principal, sorgeixen una sèrie de preguntes a les que també

s'intentarà donar resposta. Preguntes com: 'és rendible econòmicament i/o energèticament aquesta solució respecte d'altres tipus de robots autònoms o del personal de neteja?' o 'quin és el nombre de robots necessari de manera que la relació inversió econòmica-energètica sigui interessant de cara al client?'.

Possiblement, la major dificultat recaigui en com avaluar el comportament del conjunt. No és el mateix avaluar el comportament d'un robot que fer-ho d'un conjunt de desenes d'ells. Per a això, modificarem un simulador ja existent que ens permetrà veure el comportament dels robots i fer-ne un seguiment on-line. En podrem treure estadístiques de temps i consum energètic que ens serviran de cara a determinar quina política de reconfiguració i de moviment és la més adequada en funció de l'escenari on treballin els robots. Al simulador s'hi hauran d'incloure els nous escenaris i tots els algorismes necessaris perquè els robots puguin dur a terme la seva tasca segons els paràmetres dels escenaris del nostre estudi. Un altre dels objectius del projecte és el d'adaptar l'entorn de simulació de cara a que sigui el més realista possible. El simulador du implementat el joc del Red&Blue [5]. Aquest joc es basa en un escenari on hi ha distribuïts una sèrie de punts vermells i blaus i es disposa d'un nombre determinat de robots capaços d'operar amb aquests punts (neutralitzar-los, és a dir, tornar-los negres). Els robots només tenen la capacitat d'operar un tipus de punt, però poden reconfigurar-se per poder operar l'altre tipus. Quan tots els punts han estat neutralitzats el joc s'acaba i es poden veure estadístiques de temps i de consum energètic, de manera que permet comparar estratègies de reconfiguració. Un dels principals avantatges del simulador és que permet treballar amb un model simplificat de comportament individual en eixams ja que només cal decidir l'estratègia de cerca i la política de reconfiguració, de manera que es limita l'espai de cerca de possibles comportaments socials. Perquè tot això doni uns resultats el més versemblants possibles, cal parametritzar el model de treball del robot de forma precisa, en termes de consum energètic i/o temporal del moviment, reconfiguració, comunicació entre robots, detecció d'obstacles, etcètera, i de les característiques dels components (com el radi d'acció dels sensors, per exemple).

1.3 Planificació temporal

Aquest projecte ha estat realitzat durant els cursos 2008/2009 i 2009/2010 i, per tant, la planificació temporal està dividida en dues parts. La primera part, corresponent al curs 2008/2009, equival a les hores necessàries per a la elaboració de l'informe previ, reunions

amb el director del projecte i les hores destinades a la investigació del context del projecte prèvies i posteriors a la elaboració de l'informe previ. Gran part del capítol d'introducció que ja elaborat en aquesta etapa, ja que l'informe previ és un extracte d'aquest capítol. Per tant, l'elaboració del mateix es veurà dividida entre les dues parts de la planificació temporal. La segona part, corresponent al curs 2009/2010, equivaldrà a les hores destinades a cercar el tipus de robot adient, la elaboració de la memòria i aplicar les modificacions oportunes al capítol introductori, el treball de programació per a la realització del simulador d'eixams de robots i reunions amb el director del projecte, així com la presentació i defensa del projecte.

El fet que el projecte s'hagi dut a terme en cursos consecutius i, que durant un temps no s'hagi avançat en el seu desenvolupament entre els mesos de maig i desembre de 2009, implica que s'hagin de destinar hores extres en concepte de tornar a assimilar tota la informació que es tenia abans d'aquestes dates sobre el context del problema.

L'ordre d'aquesta organització temporal està plantejat de manera que primer es realitzin les tasques purament teòriques com són la investigació del context del problema i la realització dels primers tres capítols de la memòria (introducció, estat de l'art i el robot), de manera que s'aconsegueixi una base teòrica forta per, tot seguit, procedir a la part purament pràctica com seria la modificació del simulador per aplicar-hi tots els coneixements, algorismes i paràmetres del robot escollit estudiats anteriorment, i posterior realització del capítol 4 de la memòria (simulador). Un cop les dues parts descrites anteriorment s'hagin realitzat, el següent punt serà extreure'n les conclusions (capítol 5 de la memòria) i preparar la presentació del projecte.

Als punts esmentats anteriorment tenen subapartats, que es detallen tot seguit i es representaran en la figura 1.1:

Projecte -> 475h

1. Reunions amb el director del projecte -> 10h
2. Informe previ: redacció -> 2h
3. Investigació del context del problema -> 75h

- Estudiar informació sobre intel·lència d'eixams i eixams de robots -> 20h
- Trobar aplicació realista per a l'aplicació de la teoria d'eixams al context del problema: escollir un escenari -> 10h
- Trobar possibles algorismes per aplicar al moviment dels robots -> 5h
- Trobar possibles algorismes per aplicar a la reconfiguració dels robots -> 5h
- Tornar a assimilar conceptes: el segon any cal tornar a assimilar els conceptes obtinguts el primer any -> 15h
- Cercar el tipus de robots adient i els seus paràmetres funcionals i no funcionals -> 20h

4. Simulador -> 250h

- Estudiar el simulador d'eixams de microrobots existent -> 50h
- Modificar el simulador per poder estudiar el problema actual -> 50h
- Aplicar-hi les estratègies de moviment i reconfiguració -> 30h
- Comprovar que les estratègies aplicades funcionen com es desitja -> 20h
- Analitzar el conjunt de test per avaluar quina estratègia és més eficient -> 100h

5. Memòria -> 100h

- Introducció: breu introducció a l'estat de l'art, el simulador i la proposta de solució -> 25h
- Estat de l'art: explicació de la teoria d'intel·ligència d'eixams i els eixams de robots, el simulador utilitzat i breu explicació d'altres treballs relacionats -> 20h
- Descripció del robot: caracterització del robot-exemple utilitzat -> 10h
- Simulador: canvis realitzats al simulador, algorismes aplicats i paràmetres de configuració -> 20h
- Resultats: mostra dels resultats obtinguts amb les simulacions -> 20h
- Conclusions: conclusions extretes a partir dels resultats -> 10h

6. Presentació del projecte: preparar la defensa del projecte -> 9h

7. Defensa del projecte -> 1h

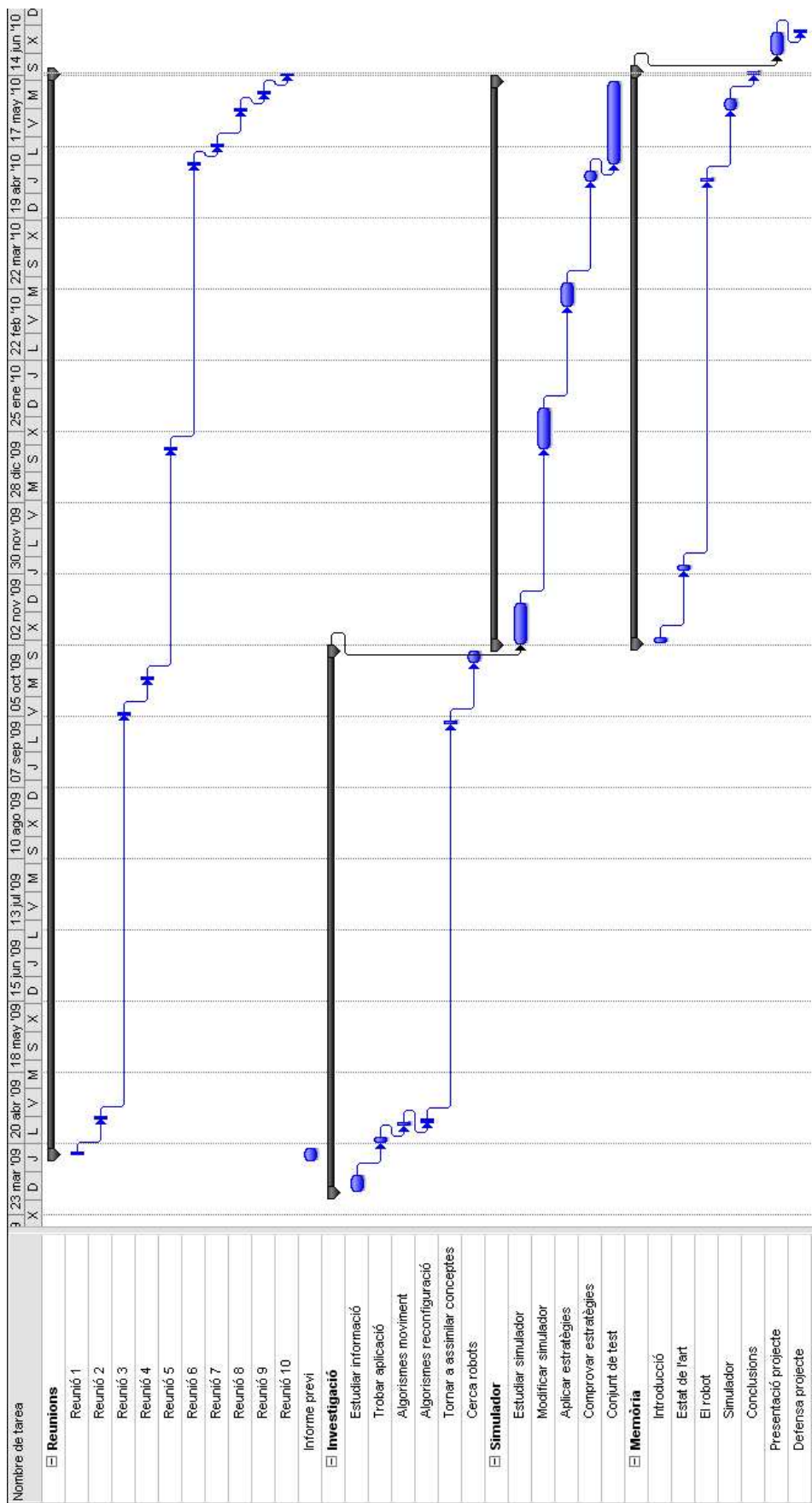


Figura 1.1: Diagrama de Gantt: al primer any es va realitzar un estudi de l'estat de l'art i del simulador per trobar una aplicació realista per el projecte. Ja en el segon, es va realitzar l'informe previ, la memòria i les modificacions al simulador.

1.4 Organització de la memòria

En el capítol 2 s'explicarà què és la intel·ligència d'eixams de forma detallada i la seva branca filla, que són els eixams de robots. El terme eixams de robots traca de l'aplicació de la intel·ligència d'eixams sobre conjunts de robots relativament simples on la seva interacció esdevé en un comportament col·lectiu desitjat. Tot seguit s'explicarà en què consisteix el joc del Red&Blue [5], joc del qual es basa el simulador del projecte, i com s'aplicarà per estudiar el problema que es planteja de neteja de superfícies. També s'entrarà en detall en l'explicació teòrica dels algorismes de comportament i de moviment dels robots. Els primers determinaran les polítiques de reconfiguració dels robots i, els segons, quin patró de moviment utilitzarà el robot. Finalment, és farà un resum d'altres treballs relacionats que han servit, en major o menor mesura, per la realització d'aquest projecte i que considerem que se n'ha de fer menció.

El capítol 3, parlarem del robot que hem considerat per a la realització d'aquest projecte. Es tracta del iRobot Create. És un robot concebut per a desenvolupadors, reprogramable i amb un cost reduït, que ens servirà de robot-exemple de cara a les simulacions. La idea és que el iRobot Create sigui un híbrid entre el iRobot Scooba i el iRobot Roomba, de manera que seria capaç d'escombrar i fregar, tot i que no a la vegada. En aquest tema s'exposaran les característiques d'aquest robot, juntament amb les dades de consum energètic per tasques de moviment, comunicació entre robots, reconfiguració i neteja.

Ja en el capítol 4 abordarem el simulador que utilitzarem per dur a terme els tests i comprovar el comportament dels robots davant un escenari i unes polítiques de reconfiguració i de moviment concretes. Al tractar-se d'una modificació d'un simulador ja existent, explicarem com configurar el simulador perquè el conjunt de test sigui el desitjat i també explicarem les modificacions efectuades per possibles modificacions futures. Tot seguit, s'exposaran els tests realitzats per poder determinar els paràmetres de configuració que millor s'adapten al problema i els resultats obtinguts de cada test.

Finalment, en el capítol 5 exposarem les conclusions obtingudes gràcies als resultats obtinguts de les simulacions, explicarem el treball realitzant fent-ne un seguiment de la planificació temporal mostrada a la secció anterior i proposarem possibles millores en el simulador, així com la possibilitat de dur a terme l'estudi amb robots reals per poder corroborar els resultats obtinguts en el tema 4.

Capítol 2

Estat de l'art

L'estudi del comportament social dels eixams de robots ha de tenir en compte factors diferents (com l'escenari, l'objectiu de l'estudi o els agents externs) en un entorn multidisciplinari (té aplicacions des de la medicina o la biologia fins al cas que ens ocupa, la neteja de superfícies). L'abast de l'estudi en aquest projecte el centrarem en la neteja de superfícies per, d'aquesta manera, limitar-ne la complexitat reduint el nombre de variables a avaluar. En aquest capítol es presenta l'estat de l'art bàsic per a resoldre'l. La intel·ligència d'eixams sorgeix del comportament col·lectiu d'agents relativament simples dissenyats de tal forma que s'observa a partir de les interaccions locals entre els agents i entre els agents i l'entorn. En el nostre cas d'estudi, aquests agents seran els robots i l'entorn serà la superfície a netejar.

El tema dels eixams de robots es deriva de l'aplicació d'elements de la intel·ligència d'eixams en els sistemes multi-robot. Constitueix un nou enfocament per a la coordinació d'un gran nombre de robots. Presentarem la seva definició i les seves característiques i discutirem el perquè ens ha semblat una possible solució al problema plantejat. A la secció següent exposarem en què consisteix i les característiques principals del joc del Red&Blue i veurem quines són les modificacions que haurem de fer per tal d'adaptar-lo als robots de neteja utilitzats en les simulacions i a la neteja de superfícies. Tot seguit, explicarem els algorismes que utilitzarem per la gestió del moviment dels robots i les seves polítiques de comportament, que faran que en funció de l'entorn es pugui arribar a obtenir el comportament desitjat en un temps i consums energètics que ens faran determinar quines són les polítiques més adients segons l'escenari on s'apliquin. Finalment, és farà menció a una sèrie de treballs que han servit de gran ajuda per a la realització d'aquest projecte.

2.1 Intel·ligència d'eixams

El terme intel·ligència d'eixams descriu un comportament col·lectiu descentralitzat en sistemes auto-organitzatius, naturals o artificials. És un concepte utilitzat en el camp de la intel·ligència artificial [7]. Aquests sistemes estan formats usualment per una població d'agents simples que interactuen localment entre ells i amb l'entorn. Els agents segueixen unes regles molt simples i, encara que no tinguin un control centralitzat que determini als agents quina acció realitzar, aquestes interaccions (locals i, fins a cert punt, a l'atzar), porten a l'observació d'un 'comportament intel·ligent'. Els exemples naturals d'aquest tipus de comportament es poden veure en insectes com les formigues, les termites o les abelles. De fet, el terme intel·ligència d'eixam ve de l'observació de les interaccions entre aquest insectes i del comportament col·lectiu que s'esdevé. L'aplicació de la teoria d'eixams al camp de la robòtica s'anomena eixams de robots, tema principal d'aquest projecte i que serà tractat amb detall a la secció següent.

2.1.1 La intel·ligència d'eixams a la natura

Com hem dit al paràgraf anterior, el terme intel·ligència d'eixams neix de l'observació a la natura de certs insectes (com poden ser les abelles, les formigues o els tèrmits) que, tot i demostrar un patró de comportament molt simple, són capaços de produir comportaments intel·ligents gràcies a la interacció amb els demés membres de l'eixam.

La forma més senzilla d'entendre aquest tipus de comportament és mitjançant un parell d'exemples:

- Qui més qui menys sap que en els rucs d'abelles les cel·les són de forma hexagonal, però, per què tenen aquesta forma? En un principi es pensava que era perquè així es podia desar més material. Finalment, es va descobrir que era perquè d'aquesta manera s'utilitza menys material per construir el rusc [1].

Un altre exemple relacionat amb el rusc de les abelles és com organitzen la disposició de la mel, les cries i el pol·len. En el centre hi col·loquen les cries, seguit del pol·len i a la perifèria hi ha la mel. Les cries estan al centre del rusc perquè estan al costat de l'abella reina, el pol·len està al costat de les cries perquè és el seu aliment i ja només queda col·locar la mel a les cel·les de la perifèria. Aquesta manera de distribució de cries, pol·len i mel, i de construcció del rusc, és un procés que a anat evolucionant a llarg dels anys gràcies a la interacció entre les abelles mitjançant un

procés de selecció natural.

- Una altra forma molt clara d'observar un comportament dins el marc de la intel·ligència d'eixams és a l'hora de cercar menjar en insectes com les formigues o les abelles. Ens trobem dins un escenari en el qual sorgeix la necessitat de transferir informació relativa a si s'ha trobat menjar, on s'ha trobat, a quina distància està o quina n'és la qualitat i/o quantitat. Per a uns insectes tan simples com les formigues o les abelles, tota aquesta informació ha de ser codificada de la forma més senzilla possible.

En el cas de les formigues, utilitzen feromones. Mentre la formiga que està cercant menjar es mou, va deixant un rastre en forma de feromones que li permetrà tornar al niu en qualsevol cas (havent trobat menjar o no). Aquest rastre, que les formigues són capaces de seguir per mitjà de l'olfacte, tindrà més o menys intensitat en funció dels paràmetres descrits anteriorment. Finalment, es podrà veure com totes les formigues recol·lectores de menjar segueixen el mateix camí d'anada al menjar i de tornada al niu i, en molts casos, aquest serà un dels camins més curts per arribar al menjar gràcies a un procés de realimentació positiva. En canvi, les abelles no poden utilitzar el mètode de les formigues ja que són insectes voladors i no terrestres.

La solució proposada per les abelles és molt més simpàtica que la de les formigues: la transmissió d'informació la realitzen mitjançant una dansa que fan al tornar al rusc on descodifiquen informació referent a la direcció i distància del menjar. Un mètode semblant utilitzen a l'hora de trobar una nova zona on viure [1][4].

2.2 Eixams de robots

Els eixams de robots aprofiten el treball fet en el tema de la intel·ligència d'eixams per a la coordinació d'un gran nombre de robots inspirats en la observació d'insectes socials com les formigues, les abelles o els tèrmits. Aquests insectes saben coordinar els seus comportaments de manera que poden dur a terme tasques que estan més enllà de les capacitats d'un únic individu.

Una molt bona definició dels eixams de robots que ens pot servir per evitar confusions amb altres termes d'estudi utilitzats en sistemes multi-robot és la següent:

L'estudi d'un eixam de robots s'entén com l'estudi de com un gran nombre d'agents

relativament simples poden ser dissenyats de tal manera que un comportament col·lectiu desitjat sorgeix de les interaccions locals entre els agents i entre els agents i l'entorn [1].

2.2.1 Propietats dels sistemes multi-robot

Hi ha tres propietats principals que s'observen en els eixams naturals i esdevenen les propietats desitjades en sistemes multi-robot:

- **Robustesa:** un sistema multi-robot ha de ser capaç d'operar encara que hi hagi perturbacions en l'entorn o algun agent no funcioni correctament, és a dir, els eixams són sistemes on cada individu és pràcticament idèntic als demés i la falta d'un individu es pot compensar per un altre, la coordinació de l'eixam és descentralitzada i, per tant, la pèrdua d'un individu no és suficient per parar la tasca en curs. Una altra característica que fa que els sistemes multi-robot siguin robusts és que els agents són relativament simples, cosa que fa que tinguin una menor probabilitat d'error.
- **Flexibilitat:** els individus d'un eixam han de ser capaços de coordinar els seus comportaments per abordar tasques de diferent naturalesa.
- **Escalabilitat:** l'eixam ha de ser capaç de treballar sota un gran rang de mides de grup i ha de suportar un gran nombre d'individus sense que hi hagi un impacte considerable en el rendiment. S'ha d'assegurar la operativitat de l'eixam podent-ne variar la mida.

2.2.2 Aplicacions dels sistemes multi-robot

Existeixen moltes aplicacions dels eixams de robots, totes elles observades en els eixams naturals. La majoria dels comportaments que veurem tot seguit estan destinades a la investigació i es duen a terme en simuladors dins de laboratoris de recerca [1][4]:

- **Foraging:** aquest problema està inspirat en el comportament de les formigues en la cerca de menjar al voltant del seu niu. L'objectiu és trobar l'estratègia de cerca òptima que maximitza el ràtio de menjar transportat al niu entre els possibles nuclis de menjar de l'entorn.
- **Agregació:** reunió auto-organitzada, l'agrupament dels individus d'un eixam en un grup sense utilitzar cap pista de l'entorn. És un comportament molt comú observat en organismes com els bacteris, els insectes o fins i tot els mamífers.

- **Dispersió:** es pot considerar l'oposat a l'agregació. L'objectiu és obtenir una propagació uniforme de l'eixam de robots en l'espai, de manera que es pugui abastar el màxim d'àrea.
- **Transport cooperatiu:** les formigues són conegudes per transportar grans quantitats de menjar coordinant les seves accions de d'empènyer i estirar. Els robots han de coordinar-se per unir les seves forces per generar la força suficient per transportar un objecte pesat. En alguns casos, aquest tipus de problemes s'han solucionat mitjançant l'elecció d'un 'líder', escollit per el grup, de manera que coordini el moviment i la posició dels demés membres.
- **Assignació de tasques dinàmicament:** és el problema que es planteja en aquest projecte. Genèricament, tenim una sèrie de tasques a realitzar que els robots, mitjançant la comunicació entre sí, són capaços de resoldre. En el nostre cas, aquestes dues tasques són les d'escombrar i fregar.

2.3 El joc del Red&Blue

El joc del Red&Blue [5] tracta de transformar punts vermells i blaus dins d'un escenari determinat, en punts negres. El joc el juguen un eixam de robots autònoms compostat per dos tipus de robots. Els primers són capaços de transformar punts vermells en punts negres, i els segons fan el mateix amb els punts blaus.

Tots els robots són homogenis i tenen unes capacitats similars, és a dir, exceptuant la capacitat de poder treballar sobre un punt o un altre, són iguals. La raó per la qual els robots no són capaços de treballar sobre qualsevol tipus de punt és que la seva capacitat d'emmagatzemament de dades no és suficientment gran i, per tant, els robots vermells i blaus només són capaços de treballar sobre el punt del seu mateix color. Aquest fet fa que si un robot vermell es troba un punt blau, tingui dues opcions: deixar el punt per quan el trobi un robot blau o reconfigurar-se. Aquest segon punt implica que el robot vermell passarà a ser un robot blau gràcies a un altre robot blau que 'l'ensenyarà' a tractar punts blaus. Degut a les limitacions d'emmagatzemament de dades que tenen, el nou robot blau 'oblidarà' com tractar punts vermells. En aquest cas concret, en el que parlem de micro i nano-robots, la limitació de memòria podria ser una motivació per a la reprogramació.

El joc acaba quan s'han transformat tots els punts vermells i blaus en punts negres i

dependrà de diversos factors com poden ser la distribució dels punts, les estratègies de cerca i de reconfiguració o del número de robots blaus i vermells. El fet que els robots són autònoms i auto-organitzatius fa que davant un mateix escenari i una mateixa distribució de punts i robots, el joc no acabi necessàriament amb les mateixes condicions de consum energètic i temporals, de manera que, per poder treure unes conclusions versemblants, s'haurà de fer un joc de proves amb un gran nombre de repeticions. Aquests aspectes més tècnics seran explicats en profunditat en el capítol 4 (Simulador) ja que en aquest apartat s'ha volgut donar una visió més simple i teòrica de en què consisteix el joc del Red&Blue.

Capítol 3

El robot

En aquest capítol s'exposarà quin és el robot que hem escollit i quines en són les característiques principals, d'aquesta manera serà possible extreure'n paràmetres per al model de simulació i els resultats de simulació seran al més pròxims a la realitat possible. Després d'això explicarem les modificacions realitzades al robot per tal que pugui dur a terme la tasca proposada i quines són les seves característiques en termes de temps i consum energètic, les quals seran introduïdes al simulador.

Existeixen varis robots capaços de desenvolupar les dues tasques proposades com el Scooba i el Roomba del fabricant iRobot [9], el Electrolux Trilobite [10] o el Kärcher RC300 [11]. Tots ells tenen característiques semblants però el fabricant iRobot ofereix un tercer model, anomenat Create, que és totalment programable, de manera que aquest serà el model en que es basarà el robot-exemple del simulador. Una altra raó que ens ha dut a escollit el Create, és que està destinat a l'educació i la investigació, el que comporta que hi hagi una quantitat de documentació que supera amb escreix la dels altres fabricants.

3.1 iRobot Roomba

El iRobot Roomba és un robot aspirador autònom introduït el 2002 per el fabricant iRobot. El robot fa uns 34 cm de diàmetre i 9 cm d'alçada. Mentre es va movent per l'habitació, té unes hèlices girant contínuament que guien la brutícia en direcció a l'aspirador. Mitjançant la detecció d'obstacles o la no detecció de cap superfícies sòlida (com poden ser les escales), el robot és capaç d'evitar obstacles i és capaç de netejar una superfície aproximada de 50 m^2 per cada càrrega de bateria. Té un preu d'entre 150 i 500 euros.

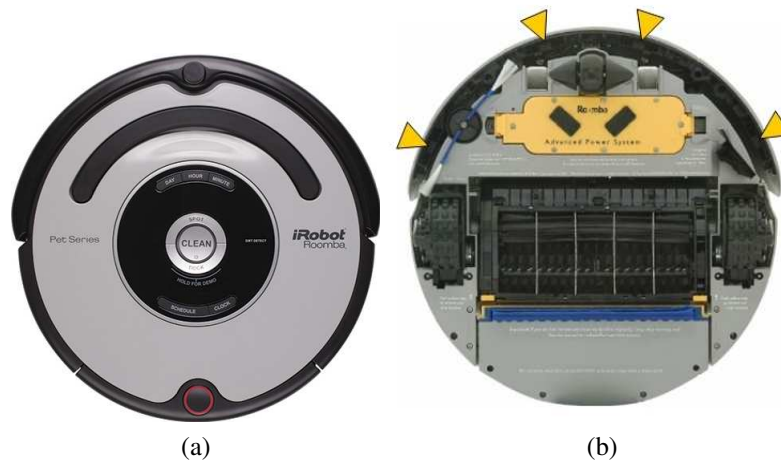


Figura 3.1: Vista superior i inferior d'un iRobot Roomba. En 3.1b es poden veure les hèlices que atrauen la brutícia cap a l'aspirador que es troba en el centre del robot.

3.2 iRobot Scooba

El iRobot Scooba és un robot fregona autònom introduït el 2006 per el fabricant iRobot. Té unes mides semblants a les del seu germà gran, el Roomba. Frega el terra mitjançant una solució que després absorbeix deixant el terra gairebé sec. És capaç de netejar uns 80 m^2 de superfície per càrrega de bateria i té un preu al voltant dels 250 - 450 euros.

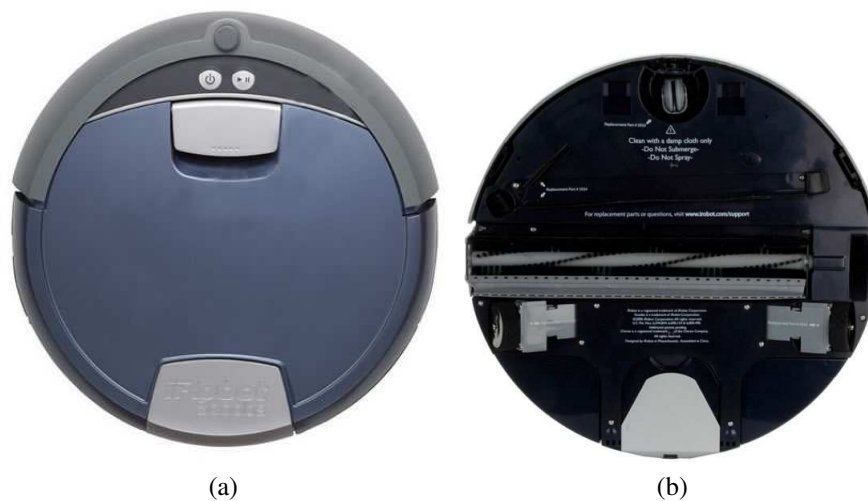


Figura 3.2: Vista superior i inferior d'un iRobot Scooba. En 3.2b es pot veure el rodet el qual s'encarrega de netejar el terra amb el producte que duu el robot.

3.3 iRobot Create

El iRobot Create és un robot programable destinat a la educació i la recerca basat en l'estructura del Roomba. Va sortir al mercat l'any 2007. Enlloc del hardware del Roomba o el Scooba, el Create té un compartiment de càrrega que duu un port de 25 pins utilitzats per entrada/sortida tan analògica com digital. També incorpora un port serie a través del qual les dades del sensor es poden llegir i es poden emetre ordres als motors mitjançant el protocol iRobot Roomba Open Interface. A causa de la seva reduïda mida i cost (entre 120 euros el robot sol i 250 euros el robot i el kit de desenvolupament complet), el iRobot Create és popular dins la comunitat d'investigació robòtica i és utilitzat en projectes d'investigació en l'àrea de xarxes multi-robot.

El que es pretén aconseguir és crear un híbrid entre els dos robots de neteja exposats anteriorment mitjançant el iRobot Create, que serà el robot base per a la creació de l'eixam i d'on s'extrauran els paràmetres per el model de simulació. Aquest nou robot serà capaç d'aspirar i de fregar el terra en funció de les necessitats de la zona a netejar. Per tant, a l'esquelet del Create s'hi han d'afegir les hèlices del Roomba, el motor d'aspiració, el dosificador de producte de neteja i els dipòsits per desar-lo. Aquest últim dipòsit, juntament amb el compartiment per desar la brutícia seca de l'aspiradora podria ser el mateix, ja que en ambdós casos hi desem brutícia i només s'ha d'assegurar que el compartiment sigui resistent als líquids. Em de tenir en compte que aquesta part és totalment teòrica ja que no tenim cap robot físic per poder provar els canvis proposats. Estem parlant d'un robot molt flexible a la hora de ser programat i a la hora de poder connectar perifèrics. Un altre perifèric que s'ha d'incloure és una càmera per a la detecció de brutícia i saber quina acció s'ha de realitzar amb la brutícia detectada. Per últim, ens queda una de les parts més importants que és la forma en que es comunicaran els robots. Això serà mitjançant un mòdul ZigBee, el qual té un consum energètic molt inferior a l'altra opció contemplada, la comunicació per Bluetooth. A la secció posterior s'entrarà en detall en aquest tema i es realitzarà un estudi en profunditat del consum energètic del robot en cada acció realitzada i del temps destinat a realitzar aquesta acció.

Una gran diferència entre el robot-exemple i el Roomba o l'Scooba, és que aquest dos últims netegen en tot moment, per tant, mentre es mouen per l'escenari també estan netejant, encara que per la zona on passen no calgui. En el nostre cas, el robot només netejarà quan els detectors de brutícia determinin que la zona ha de ser netejada. Aquesta diferència pot fer que la duració de la bateria s'incrementi, ja que les eines utilitzades per a la

detecció de la brutícia tenen un consum energètic molt inferior a les utilitzades per netejar.



Figura 3.3: Conjunt de iRobot Create. Es pot veure que duen antenes de radiofreqüència per comunicar-se entre sí, imprescindible quan es parla de xarxes multi-robot.

3.4 Característiques

Un cop descrit el robot, en podem extreure les característiques de cada component per conèixer el seu consum energètic de manera que el simulador pugui produir uns resultats el més versemblants possibles:

- **Bateria:** el robot duu una bateria principal de 3300 mAh a 14'4 V i accepta una bateria secundària composta per piles AA també de 3300 mAh a 14'4 V. Ambdues es poden adquirir de la pàgina oficial d'iRobot.
- **Motor rodes:** cadascuna de les dues rodes les mouen el motor RS-360SH de la marca MabuchiMotor. Aquest motor funciona a 7'2 V i 1'76 A.
- **Motor hèlix:** incorpora un motor de rotació que funciona a 4 V i 0'35 A.
- **Motor aspirar:** el motor utilitzat per el Roomba funciona a 9 V i 0'33 A.
- **Motor fregar:** el motor utilitzat per el Scooba funciona a 9 V i 0'7 A.
- **Detecció d'escals:** IR LED (díode emissor d'infraroigs) que emet un raig de llum que, a partir d'un foto-díode per detectar la energia dispersa i determinar si hi ha terra o no.
- **Detecció d'obstacles:** utilitza un receptor d'infraroigs omnidireccional.

- **Comunicació sense fils:** com s'ha dit anteriorment, s'utilitzarà un mòdul de comunicació sense fils ZigBee. Aquest mòdul permet comunicacions segures amb una baixa taxa de transferència, a part d'oferir un consum molt reduït i ser de fàcil integració. Al voler minimitzar el consum energètic i tenint en compte que el robots no es comuniquen contínuament, sinó només quan hi ha un conflicte a l'hora de netejar un punt, hem considerat que aquesta és la millor opció per la comunicació entre robots. A continuació es mostra una taula comparativa amb l'altre opció que hem contemplat per a la comunicació dels robots, que és el Bluetooth.

	ZigBee	Bluetooth
Taxa de transferència	250 kbps	3 Mbps
Abast	10 - 100 m	10 - 100 m
Freqüència	2'4 GHz	2'4 GHz
Consum energètic	1 - 10 mW	10 - 100 mW
Preu	20 - 30 euros	20 - 100 euros

Taula 3.1: Taula comparativa entre els protocols de comunicació ZigBee i Bluetooth.

Podem observar a la taula que la taxa de transferència és molt més baixa respecte el Bluetooth, cosa que no influeix perquè la comunicació no és constant i les dades a transmetre és l'identificador i l'estat del robot, cosa de molt baix pes. L'abast i la freqüència són iguals, depenent del model escollit i el consum energètic és 10 vegades inferior per el mòdul ZigBee. El preu el podríem considerar igual ja que en el suposat cas d'escollir el mòdul Bluetooth, amb una versió senzilla seria totalment suficient per el nostre propòsit.

- **Detecció de brutícia:** es realitzarà mitjançant una càmera AVRCam. Aquesta càmera té un preu d'aproximadament 90 euros i funciona a 5 V i 57 mA. És capaç de rastrejar fins a 8 objectes a la vegada, que és el propòsit pel qual la utilitzarem, la detecció de zones susceptibles de ser netejades. El software és totalment reprogramable ja que està distribuïda sota llicència GPL. La forma en que, un cop detectada una zona a netejar, el robot determina quin tipus d'eines són necessàries per netejar-la (escombrar o fregar), només pot ser explicada de forma teòrica ja que no hem disposat d'un robot físic amb tots els components descrits anteriorment. Una forma podria ser la d'utilitzar les hèlices movent-les per les superfícies i, a partir del IR LED, determinar si s'ha aixecat pols. Si la llum emesa per el IR LED es dispersa abans d'arribar al foto-díode, voldrà dir que s'ha aixecat pols i determinarà

que la zona ha de ser escombrada. En cas contrari, la zona serà fregada. Es podria donar el cas en que en una zona que hauria de ser fregada s'aixequés pols i el robot determinés que la zona ha de ser escombrada, de tal manera que la majoria de la brutícia no fos netejada. Això faria que el rendiment del robot baixés considerablement. Una possible solució seria la de determinar quin és el percentatge de llum emesa que es pot dispersar i determinar el tipus de superfície en funció d'aquest percentatge. Aquesta constant hauria de ser calculada de forma empírica.

Capítol 4

Simulador

4.1 Modificacions respecte la versió anterior

4.1.1 Adaptació del joc de Red&Blue a la neteja de superfícies

La part pràctica d'aquest projecte es basa en poder adaptar el simulador del joc del Red&Blue de manera que es pugui aplicar a la neteja de superfícies. Per tant, s'ha de fer una analogia amb el joc del Red&Blue:

- Robot: s'utilitzarà el iRobot Create del fabricant iRobot.
- Punt vermell: zones on és necessari escombrar.
- Punt blau: zones on és necessari fregar.
- reconfiguració: canvi d'eines per poder realitzar cada tasca. En el joc del Red&Blue aquesta reconfiguració es tractava de la transmissió del 'coneixement' de realització d'una tasca d'un robot a l'altre, amb el handicap que cada robot només era capaç de saber fer una tasca en concret i, per tant, la tasca anterior era 'oblidada'. En el nostre cas, la reconfiguració no representarà cap canvi en el robot, és a dir, simplement es basarà en que em micro-controlador doni les ordres pertinents en les que un robot canviï, o no, la seva funcionalitat.

4.1.2 Escenaris

S'han creat dos escenaris realistes per realitzar les simulacions: una oficina i un magatzem. L'oficina és el plànol de la segona planta de l'espina QC de la ETSE, part parell, on

es troba el departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics, que és el departament on s'ha realitzat aquest projecte. El magatzem es tracta d'un plànol real extret d'Internet, modificat de manera que tingui unes dimensions semblants a les de l'oficina, de manera que els dos escenaris tinguin les mateixes dimensions i fer més àgil la integració amb el simulador. A les figures 4.1 i 4.2 es veuen els escenaris escollits i com es veuen sobre plànol i en el simulador. En ambdós casos s'ha intentat ser el més acurat possible en la representació dels escenaris.

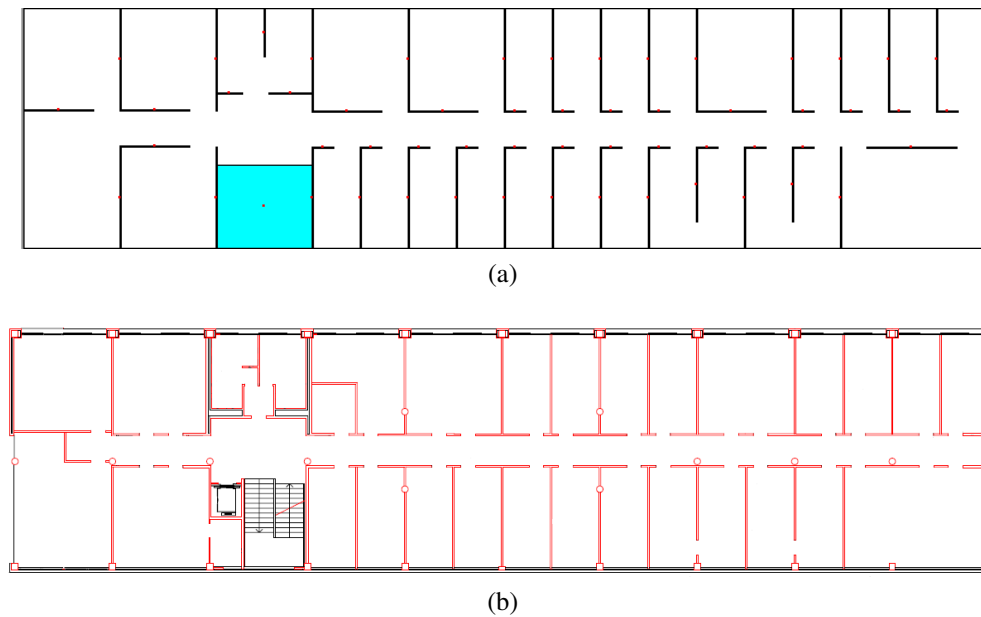


Figura 4.1: Escenari ETSE

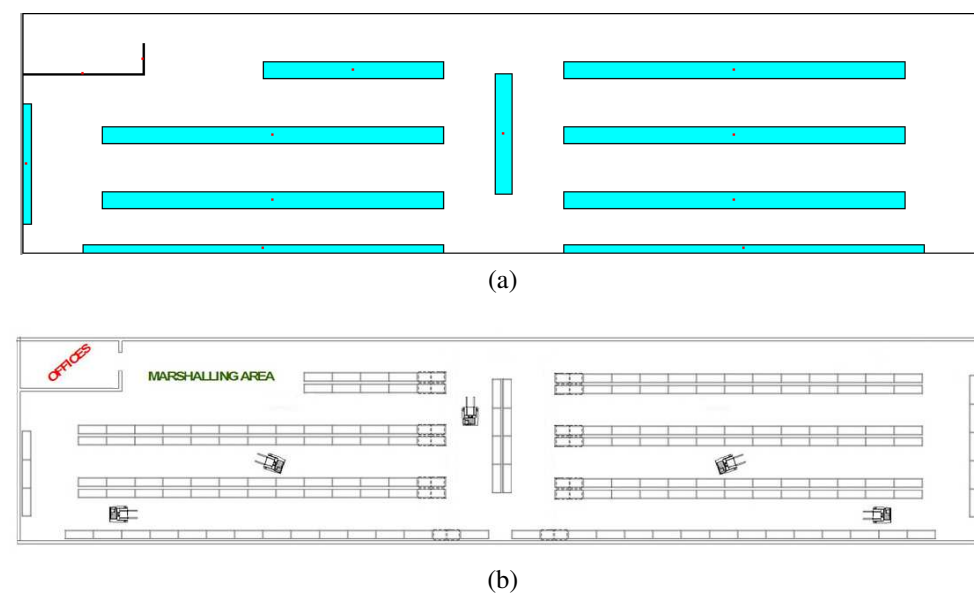


Figura 4.2: Escenari magatzem

4.1.3 Màquina d'estats

S'ha realitzat una petita modificació a la màquina d'estats respecte la del joc del Red&Blue. Durant la realització del projecte s'ha observat que el consum energètic varia molt si el robot està configurat per escombrar o per fregar. Per fregar aproximadament es destina el doble d'energia que per escombrar. Per això hem cregut necessari incloure una nova condició a la màquina d'estats per adaptar-la al nostre problema concret, tenint en compte el nivell de la bateria a l'hora de determinar si el robot es pot reconfigurar o no. També hem afegit un estat nou anomenat CHARGING. A la figura 4.3 es pot veure la màquina d'estats adaptada per a la neteja de grans superfícies.

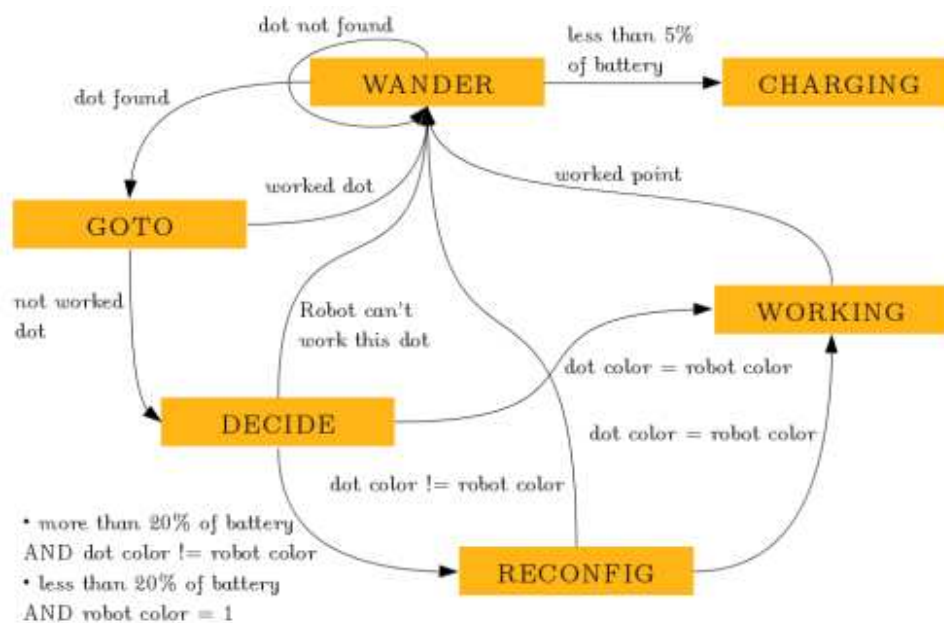


Figura 4.3: Màquina d'estats

- **WANDER:** el robot es mou per l'escenari fent servir l'algorisme de moviment escollit. Quan troba un punt susceptible de ser netejat (hi ha tres tipus de punts: vermell, blau o negre. El punt negre és un punt que ja ha estat netejat) passa a l'estat GOTO.
- **GOTO:** si el punt és una zona de brutícia (punt vermell o blau) passa a l'estat DECIDE. Si el punt és negre, passa a l'estat WANDER per seguir la cerca.
- **DECIDE:** aquí és on es comprova el tipus de brutícia i si s'ha d'escombrar o de fregar. Quan la bateria del robot està per sota del 20%, aquest robot només podrà escombrar per tal d'allargar al màxim la vida de la bateria. En cas que es doni el

cas anterior i el robot estigui programat per fregar, es passarà a l'estat RECONFIG. Si la bateria està per sobre del llindar del 20% i el robot està programat per realitzar la tasca contrària a la que requereix la zona a netejar, també es passa a l'estat RECONFIG. Si tot està correcte, es passa a l'estat WORKING.

- **RECONFIG:** es reprograma el robot. Si el robot està programat per netejar el punt on es troba, passa a l'estat WORKING, sinó, passa a l'estat WANDER.
- **WORKING:** treballa el punt durant el temps establert. Un cop acaba el temps dedicat a la neteja del punt, passa a l'estat WANDER per seguir amb la cerca de zones susceptibles de ser netejades.
- **CHARGING:** quan la bateria és inferior al 5% de la seva capacitat, el robot torna al punt de càrrega de tal manera que quan l'operari encarregat del manteniment dels robots sempre el trobi al mateix lloc. Tan el Roomba com l'Scooba com el Create són capaços de tornar al punt de càrrega quan els hi manca poca bateria i carregar-la automàticament. Aquestes bateries triguen entre 2 i 3 hores en tornar a estar carregades, i els robots tenen una durada de la bateria d'aproximadament 4 hores. Amb aquest estudi vol allargar la vida de la bateria ja que el procés de neteja no és continu, sinó selectiu. Per tant, quan un robot esgota la bateria i arriba al punt de càrrega, no tornarà a ser utilitzat fins al dia següent. Aquest estat fa que els robots iniciïn i finalitzin la seva tasca en el punt de càrrega.

4.2 Algorismes de moviment

Utilitzarem dos algorismes de moviment diferents:

1. Moviment aleatori.
2. Moviment aleatori amb atracció cap a zones d'alt gradient.

Els dos algorismes tenen la mateixa base, és a dir, generen un moviment aleatori. L'algorisme es basa en els principis del moviment brownià [3], que és el moviment irregular i aleatori que segueixen petites partícules immerses en un fluid. L'algorisme amb atracció cap a zones d'alt gradient rau en la presumpció que, un cop trobada una zona a netejar, si es segueix una direcció de cerca semblant a l'actual del robot, hi ha més possibilitats de trobar altres zones a netejar. A la figura 4.4 es mostren els dos algorismes.

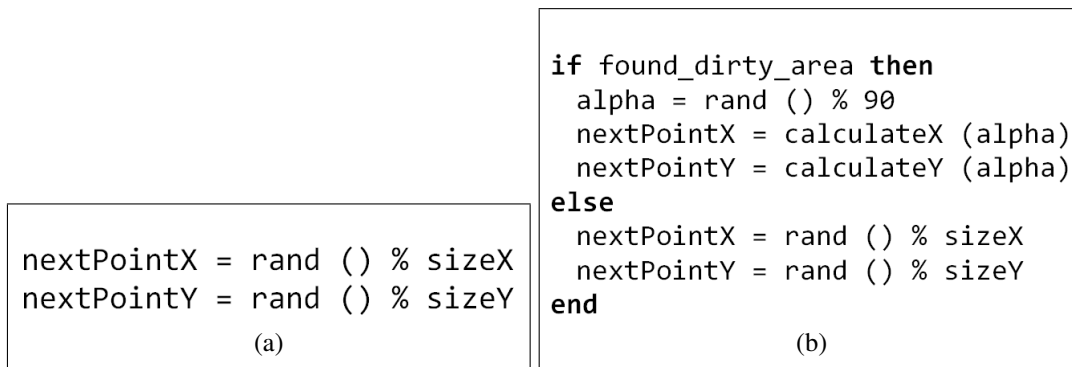


Figura 4.4: En 4.4a es veu com actua l'algorisme de moviment aleatori, el qual calcula els nous punts a visitar a partir d'un nombre aleatori segons les dimensions de l'escenari. En 4.4b, el moviment és igual que en 4.4a però en el moment que es troba una zona bruta, es recalculen els punts a visitar en funció d'un angle dins el rang [0,90).

4.3 Configuració del robot

Es basa bàsicament en una ordre donada per el microcontrolador de la placa base que determina l'acció que ha de realitzar el robot en un moment determinat (escombrar o fregar), és a dir, quins motors dels descrits en el tema anterior han d'estar actius i quins han d'estar aturats. Mentre que en [5] la reconfiguració es realitzava a partir de la transmissió de 'coneixement' entre robots, o en [6] es realitzava fent un canvi d'eines, en el cas que ens ocupa, l'estat RECONFIG de la màquina d'estats és simplement aplicar la decisió presa en l'estat DECIDE, cosa que implica només rebre una ordre de la placa base i, per tant, no requereix cap desgast energètic ni temporal.

Una altra cosa que podríem considerar implícita en la configuració del robot és el fet de tenir un control sobre el nivell de la bateria i poder actuar en funció d'aquest nivell. El fet que l'acció de fregar consumeixi aproximadament el doble de bateria que escombrar, fa que el robot, quan li manca menys d'un 20% de bateria, només se li permeti escombrar, de manera que allargarem la vida útil i es podrà abastar més superfície. L'última configuració és la de retornar al punt de càrrega quan el nivell de bateria és inferior al 5%. Com s'ha comentat anteriorment, els robots-exemple utilitzats són capaços de realitzar aquesta acció automàticament.

4.4 Distribució dels punts

Els punts podran ser posicionats dins de l'escenari de dues maneres diferents:

- Aleatòriament
- Distribució depenent de l'escenari escollit

El primer algorisme de posicionament dels punts genera les coordenades on es situa el punt de forma totalment aleatòria, sense tenir en compte l'escenari on ens trobem. La segona opció, en canvi, té en compte l'escenari escollit. En el cas d'escollir les oficines (planta 2 parell de l'espina QC de l'ETSE), hem de tenir en compte que la zona més freqüentada és el passadís i, per tant, podem deduir que la zona on es generarà més brutícia es aquesta. Per aquesta raó hem creat un algorisme que pren el passadís com a centre i genera els punts de brutícia a partir d'aquest centre, així gran part dels punts estaran al passadís i la resta repartits per les oficines. Si escollim com a escenari el magatzem, els punts a netejar es generaran a prop dels obstacles (estanteries). El pas de transpalets i de toros desplaçaria la brutícia cap als obstacles, on s'acumularia. La figura 4.5 mostra la distribució dels punts en cada escenari.

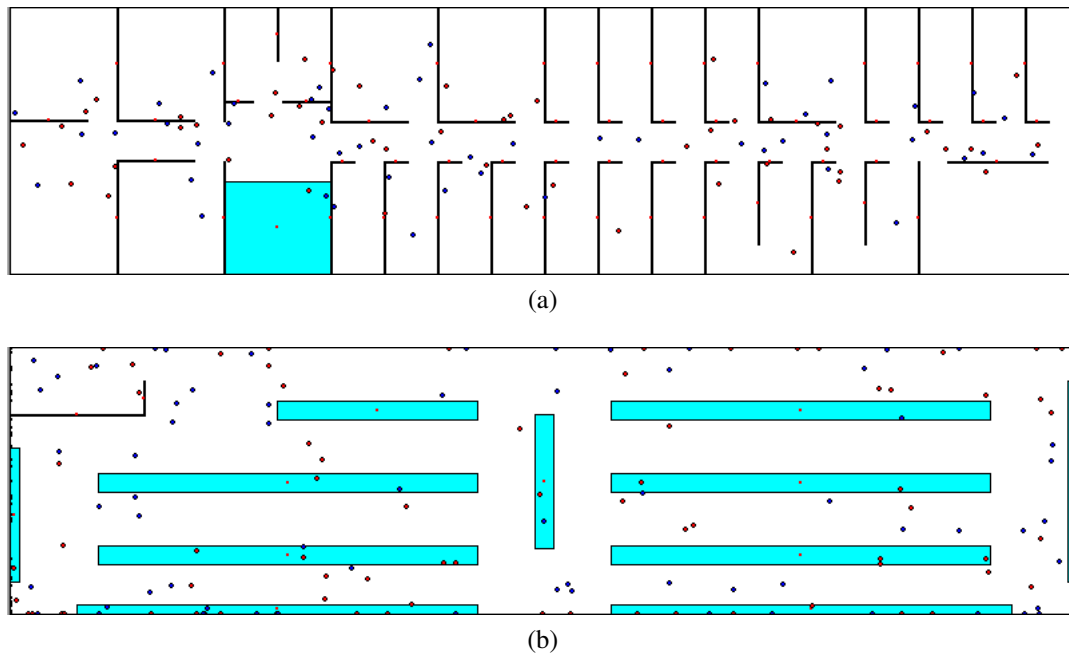


Figura 4.5: En 4.5a es veu la generació de punts a l'escenari oficina i en 4.5b en l'escenari magatzem.

4.5 Distribució dels robots

Els robots podran ser distribuïts de tres maneres diferents:

- Aleatòriament

- Al voltant dels obstacles
- Al centre de l'escenari

Per posicionar els robots utilitzarem els algorismes creats per posicionar els punts. La única diferència és que en aquest cas els robots es posicionaran al centre de l'escenari i, en el cas dels punts de brutícia, els posicionàvem per tot el passadís.

4.6 Configuració de l'entorn

Hi ha dos menús principals per tal de configurar l'entorn alhora de realitzar els tests necessaris i poder estudiar el comportament dels robots: el menú de configuració de l'escenari i el menú de configuració dels robots. Un cop configurar l'entorn amb els menús de les figures 4.7 i 4.8, podem procedir a la realització de la simulació fent click al botó de 'play' del menú principal del simulador (figura 4.6). Durant la simulació s'anirà generant un arxiu de text anomenat 'robotStats.txt' on es desaran totes les dades rellevants de cada robot en intervals de 15 minuts. Gràcies a aquestes dades hem pogut extreure'n els resultats exposats a la secció posterior i les conclusions del següent tema.



Figura 4.6: Menú principal del simulador. Al fer click al botó 'play' iniciarem la simulació i el botó 'pause' serveix per pausar-la. Dins del menú 'Parameters' hi trobarem els menús de configuració de l'escenari i els robots.

4.6.1 Configuració de l'escenari

En aquest menú, podem determinar el número de robots i de punts de cada color, quina distribució inicial tenen tan els robots com els punts, l'escenari escollit i l'algorisme de moviment que seguiran els robots. A la figura 4.7 es pot veure aquest menú.

Scenario parameters

Red robots: 10 Blue robots: 10

Red points: 50 Blue points: 50

Room area: 800 x 200

Obstacles: 0 Sensor ratio: 10

Point radius: 2 Robot radius: 3

Robot distribution: ☒ Random ☐ Normal ☐ Borders

Points: ☒ Random ☐ Normal

Robot Energy: ☐ Limited ☒ Unlimited

Search strategy: ☒ Random ☐ High gradient points attraction

Scenario: ☒ 0 ☐ Warehouse

OK Cancel

Figura 4.7: Menú de configuració de l'escenari

4.6.2 Configuració dels robots

Per tal de dotar al simulador de les dades necessàries en termes de consum energètic i temporals, de manera que les simulacions siguin el més realístiques possibles, s'han determinat una sèrie de paràmetres realitzant un estudi en profunditat dels components del robot i de quin s'utilitza en cada acció. En el menú de configuració dels robots es poden introduir tots aquests paràmetres. A la figura 4.8 es pot veure el menú de configuració dels robots i tot seguit explicarem que significa cada paràmetre i el seu valor.

Robot parameters			
Movement time:	1 [s]	Movement energy:	25.34 [Energy Unit / s]
Work red time:	10 [s]	Work red energy:	1.4 [Energy Unit]
Work blue time:	15 [s]	Work blue energy:	30 [Energy Unit]
Reconfig. red time:	0 [s]	Reconfig. red Energy:	0 [Energy Unit]
Reconfig. blue time:	0 [s]	Reconfig. blue Energy:	0 [Energy Unit]
Decide red time:	30 [s]	Decide red energy:	30 [Energy Unit]
Decide blue time:	5 [s]	Decide blue energy:	30 [Energy Unit]
Speed:	0.5 [Length Unit / s]		
<div> <div>Total</div> <div> Ratio communication: 50 [Length Unit] </div> <div> Total red energy: 1710; </div> <div> Total blue energy: 1710; </div> </div>			

Figura 4.8: Menú de configuració dels robots

Tots els paràmetres configurables de la figura 4.8 pertanyen a estats de la màquina d'estats. Els paràmetres temporals que surten a la figura 4.8 són els utilitzats a la versió final del simulador. Aquests paràmetres han estat determinats tenint en compte les propietats dels elements que formen el robot. Els temps de neteja no els podem avaluar amb exactitud ja que depenen molt del tipus i la quantitat de brutícia de la zona. Hem determinat temps suficientment alts com per poder considerar que la superfície queda neta. Una opció seria que un cop hi hagi hagut el timeout, el robot torni a comprovar si la superfície encara està bruta o no. Això podria dur a comportaments no desitjats com per exemple falsos positius, així que hem determinat que quan ha transcorregut el temps destinat a escombrar o fregar la zona, es doni la zona per netejada. A la taula 4.1 es mostra quin és el consum energètic de cada estat i quins elements hi intervenen.

	Elements	Consum
Moviment	2 motors rodes + càmera + placa base + IR led	45'82 J
Treballar punt vermell	motor aspiració + motor hèlix + placa base	24'37 J
Treballar punt blau	rodet neteja + motor neteja + placa base	27'7 J
Decidir	mòdul ZigBee + placa base	20'1 J

Taula 4.1: Taula on es mostren els consums del robot per cada estat. Tal com s'ha dit anteriorment, la reconfiguració no consumeix energia i temps. L'estat decidir té el mateix consum tan si el robot es vermell com blau.

La velocitat dels robots està extreta dels fulls de característiques del fabricant [9] i és de 0'5 m/s. El radi de comunicació és el del mòdul de comunicació ZigBee. Com que està entre 10 i 100 m, hem decidit que aquest radi sigui de 50 m. Pel que fa a la bateria, tindrà una capacitat de 326592 J.

4.7 Tests realitzats

Tal com es pot veure en el menú de configuració de l'escenari 4.7, disposem de:

- 3 algorismes de distribució de robots
- 2 algorismes de distribució de punts
- 2 algorismes de cerca
- 2 escenaris
- menús de selecció de nombre de punts i robots vermells i blaus

Quant al nombre de punts, utilitzarem 3 combinacions diferents de punts vermells i punts blaus. En total tindrem 100 punts a netejar repartits de la manera següent: 25-75, 50-50 i 75-25 punts vermells-blaus. Per al nombre total de robots també utilitzarem 3 combinacions diferents. Per determinar quin ha de ser aquest nombre ens basarem en les dades obtingudes a la web del fabricant del robot [9], on diu que tant el iRobot Scooba com el Roomba són capaços de netejar una superfície d'entre 50 i 80 m^2 . La superfície total de l'escenari de la ETSE està al voltant dels 800 m^2 , mentre que el magatzem és una mica més gran, uns 1000 m^2 (em procurat agafar escenaris de dimensions semblants). Si suposem que un robot serà capaç de netejar una superfície mitjana de 65 m^2 , el nombre de robots necessaris estarà al voltant de 15 robots. Per tant, les combinacions de robots seran

5-10, 8-7 i 10-5.

Una vegada descrites totes les combinacions diferents, en total haurem de realitzar 216 simulacions. Aquestes simulacions s'han realitzat per duplicat per aconseguir uns resultats més versemblants ja que l'ús de nombres pseudoaleatoris fa que no hi hagi dues simulacions iguals i, per tant, és convenient fer-ne més d'una. Els resultats els representarem en una sèrie de gràfiques que ens permetran extreure'n unes conclusions que mostrarem a les següents seccions.

4.8 Resultats

Un cop realitzades totes les simulacions, n'hem extret estadístiques de punts treballats i de consum energètic per tal de comparar les dades obtingudes i saber quines combinacions són les més eficients per cada escenari.

Es mostraran tres tipus de gràfiques diferents:

- Una diagrama de barres on es mostrarà el percentatge de punts treballats (eix Y) per a cada simulació (eix X) individualment, juntament amb una recta que indicarà el percentatge promig de punts treballats. Aquest tipus de gràfica es mostrarà en tots els casos.
- Una gràfica on es mostrarà el percentatge de punts treballats (eix Y) en funció del temps (eix X), en franges de 30 minuts. Els resultats mostrats s'han extret fent la mitjana dels resultats de totes les simulacions que compleixen les condicions a avaluar en cada cas. Aquest tipus de gràfica també es mostrarà en tots els casos.
- Una gràfica on es mostrarà l'energia consumida en Joules (eix Y) en funció del temps (eix X), en franges de 30 minuts. Els resultats mostrats s'han extret fent la mitjana dels resultats de totes les simulacions que compleixen les condicions a avaluar en cada cas. Aquesta gràfica només la podem trobar al avaluar els algorismes de cerca.

4.8.1 Estratègies de cerca

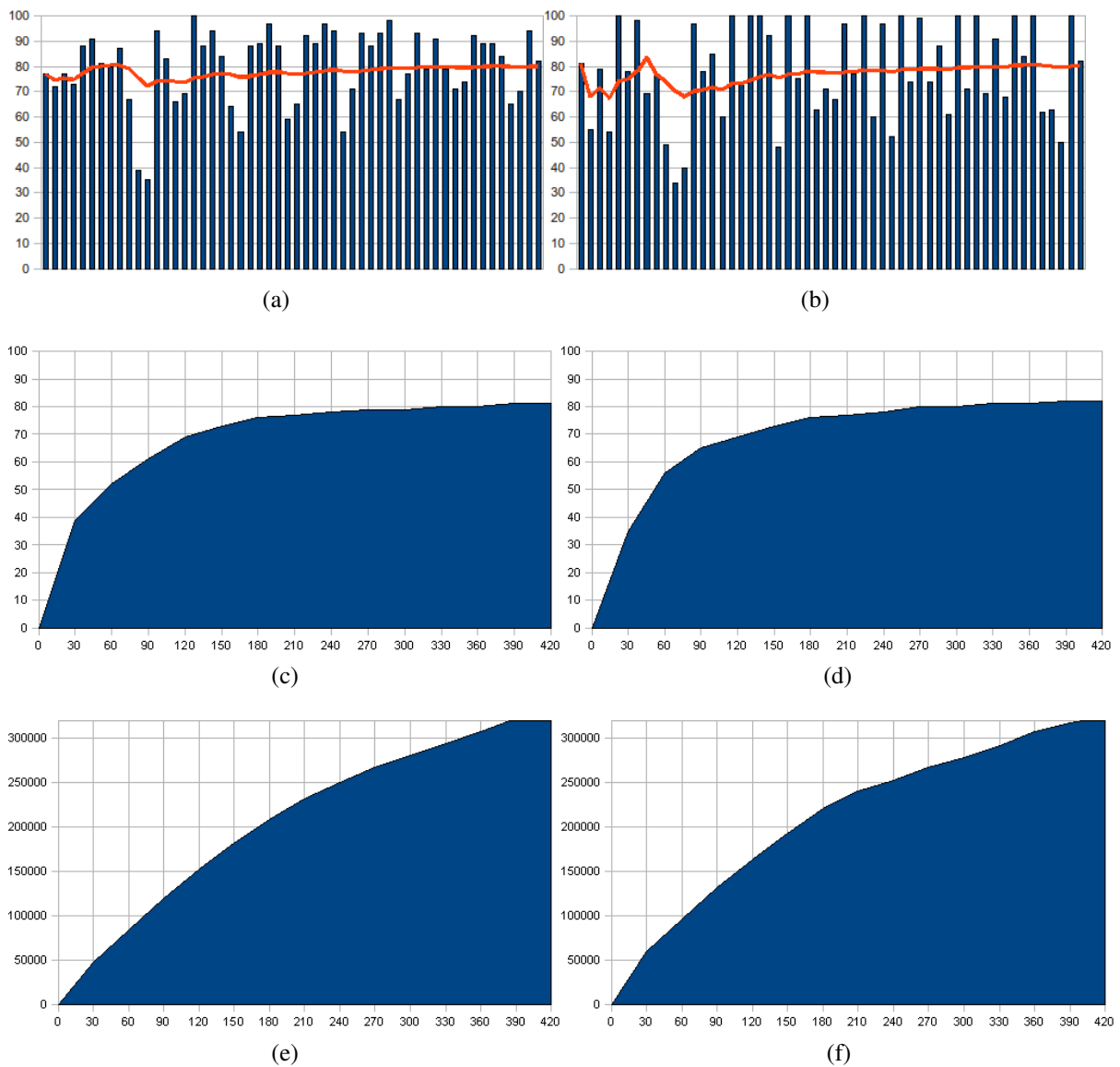


Figura 4.9: Les gràfiques 4.9a i 4.9b corresponen al percentatge de punts treballats per cada simulació realitzada amb l'estratègia de cerca aleatòria. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.9c i 4.9d mostren la progressió de punts treballats en el temps i les gràfiques 4.9e i 4.9f corresponen al consum energètic promig pels dos escenaris, on l'eix x representa el temps en minuts i l'eix y representa l'energia. La columna de l'esquerra mostra els resultats per l'escenari oficina i la de la dreta per l'escenari magatzem.

Observem que en ambdós casos el percentatge de punts treballats és molt semblant al voltant del 80%. Tot i que en el magatzem s'assoleix moltes vegades el 100% de punts treballats, també podem veure que hi ha simulacions en que aquest percentatge baixa bastant. En l'escenari oficina també succeeix, però les diferències no són tan grans.

A les gràfiques 4.9c i 4.9d veiem com al voltant del minut 120 ja s'han netejat aproximada-

ment el 90% dels punts totals treballats. Són gràfiques amb un comportament semblant, tot i que al magatzem hi ha un pendent més pronunciat que vol dir que es netegen més punts.

Les gràfiques d'energia consumida mostren com els robots tenen una durada de les bateries d'entre 370 i 390 minuts. Tenint en compte la bateria del model de sèrie del Roomba o l'Scooba dura aproximadament 240 minuts, hi ha un guany d'entre 130 i 150 minuts.

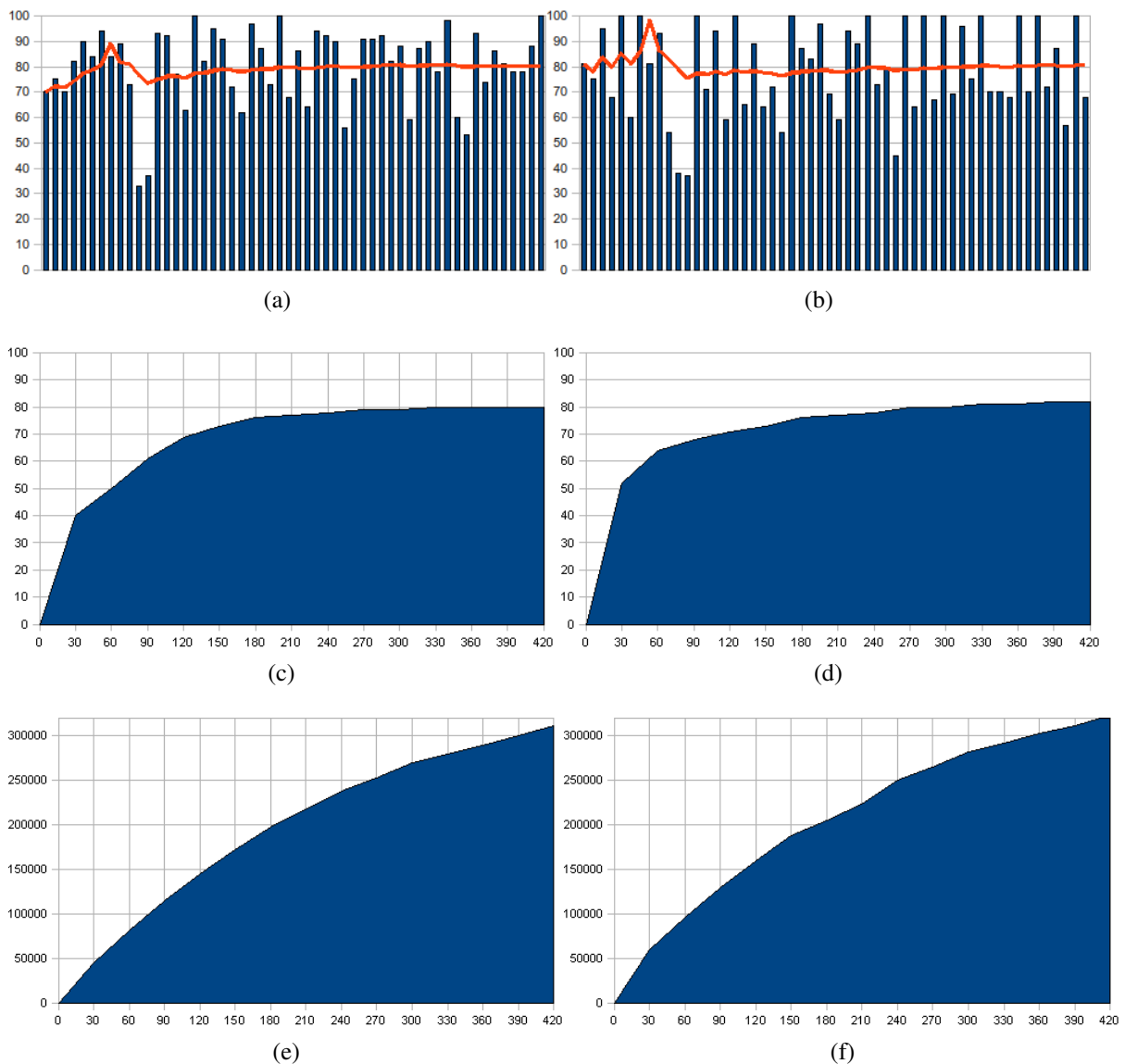


Figura 4.10: Les gràfiques 4.10a i 4.10b corresponen al percentatge de punts treballats per cada simulació realitzada amb l'estratègia de cerca amb atracció a zones d'alt gradient. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.10c i 4.10d mostren la progressió de punts treballats en el temps i les gràfiques 4.10e i 4.10f corresponen al consum energètic promig pels dos escenaris, on l'eix x representa el temps en minuts i l'eix y representa l'energia. La columna de l'esquerra mostra els resultats per l'escenari oficina i la de la dreta per l'escenari magatzem.

Resultats força semblants als obtinguts amb l'algorisme de cerca aleatori, amb un percentatge de punts treballats al voltant del 80%, però amb uns valors més estables, sense tant alts-i-baixos. Segueix havent-hi algun pic per sota del 40%.

A les gràfiques de punts treballats en el temps, als primers instants es treballen més punts que amb l'algorisme aleatori i això fa que la pendent sigui major.

Els que ens crida més l'atenció en comparació amb les gràfiques anteriors són les d'energia consumida. Mentre que amb l'algorisme aleatori les bateries duraven uns 390 minuts, ara s'allarguen fins, en el cas del magatzem, uns 410 minuts i, en el cas de l'oficina, sobrepassa els 420. Aquesta durada extra de la bateria és deguda a la lògica aplicada per l'algorisme amb atracció a zones d'alt gradient en el moment en que troba un punt susceptible de ser netejat.

4.8.2 Distribució dels robots

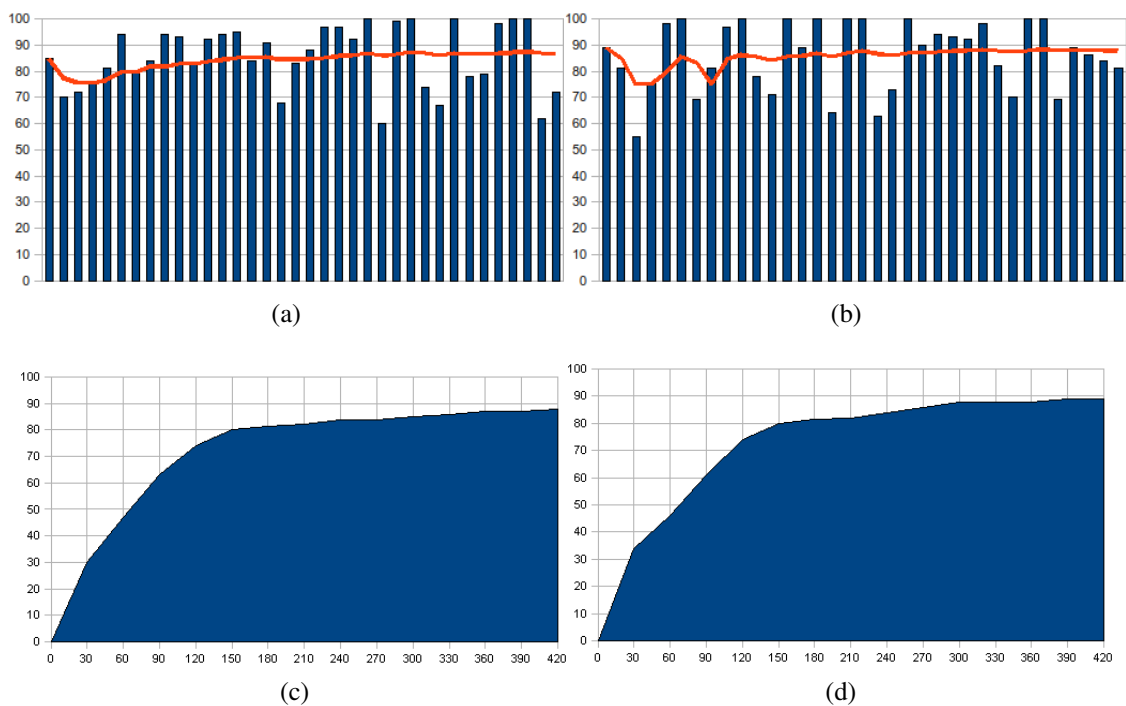


Figura 4.11: Les gràfiques 4.11a i 4.11b corresponen als punts treballats per cada simulació realitzada amb la distribució de robots aleatòria. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.11c i 4.11d mostren la progressió de punts treballats en el temps.

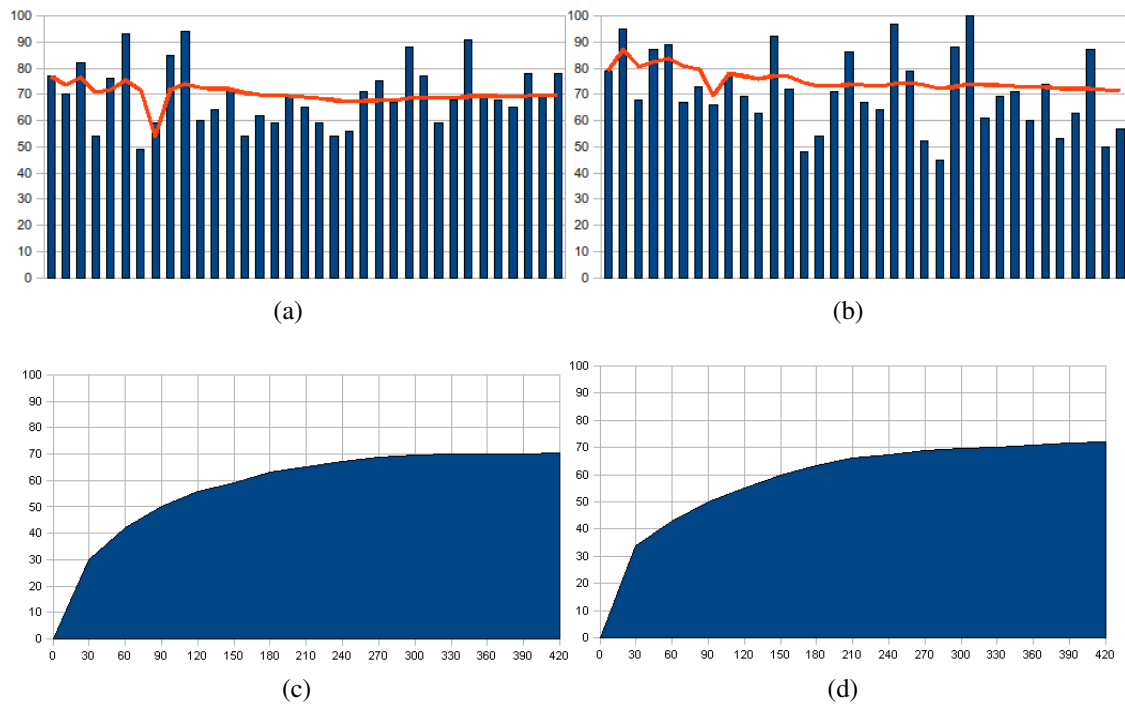


Figura 4.12: Les gràfiques 4.12a i 4.12b corresponen als punts treballats per cada simulació realitzada amb la distribució de robots centrats en un punt central. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.12c i 4.12d mostren la progressió de punts treballats en el temps.

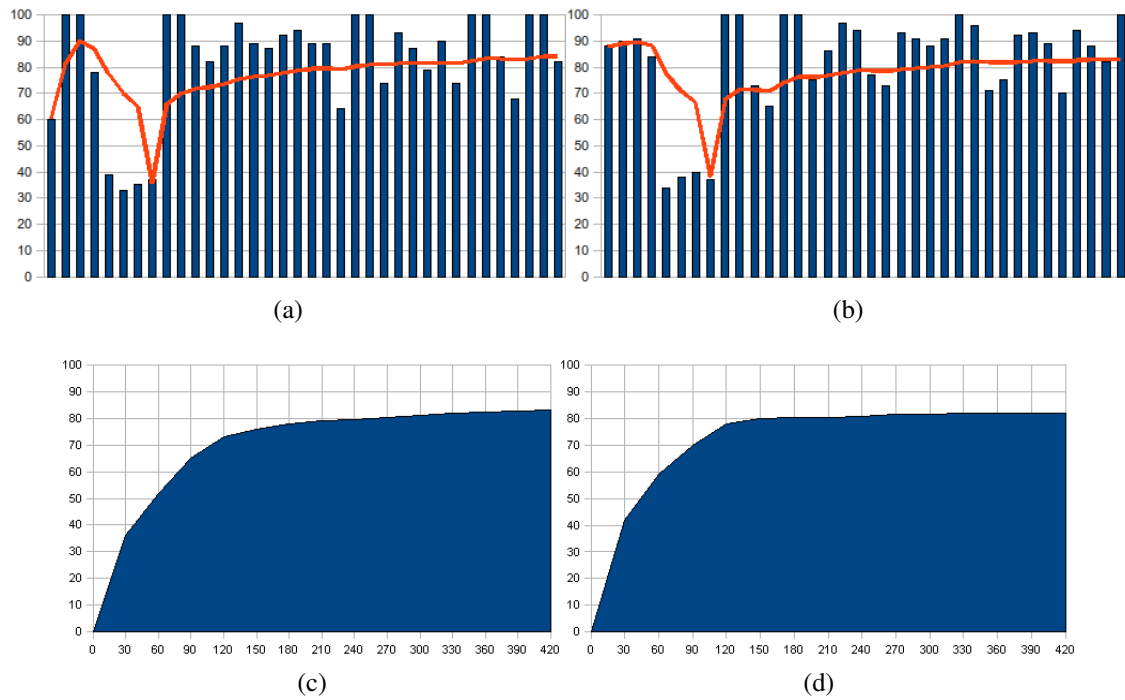


Figura 4.13: Les gràfiques 4.13a i 4.13b corresponen als punts treballats per cada simulació realitzada amb la distribució de robots a prop dels obstacles. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.10d i 4.10f mostren la progressió de punts treballats en el temps.

La distribució de robots aleatòria dona bons resultats arribant gairebé a netejar el 90% dels punts i dona sempre uns percentatges semblants, especialment en l'escenari oficina (gràfica 4.11a). Pel que fa la progressió de punts treballats en funció del temps, a partir del minut 150 es suavitza el pendent de la gràfica però en cap moment s'estabilitza, el que fa pensar que amb una durada més elevada de la bateria es podrien netejar més punts.

La distribució de robots centrats en un punt és la que té uns resultats més dolents en quant a percentatge de punts treballats. Està al voltant del 70%. Al igual que la distribució aleatòria, és bastant constant en els percentatges i és en l'escenari oficina on aquest valors són més pròxims. Les gràfiques de progressió de punts treballats en el temps sí que tendeixen a estabilitzar-se en aquest 70% de punts treballats.

Finalment, la distribució a prop dels obstacles presenta uns resultats a camí entre les dues distribucions anteriors, si més no, presenta una davallada significativa en quatre simulacions consecutives en ambdós escenaris, cosa que fa pensar que la combinació d'aquesta distribució de robots amb la distribució de punts en funció de l'escenari (tot seguit veurem que és la distribució de punts menys eficient), pot haver produït aquests valors tan baixos. Tot i això, si no tenim en compte aquests valors, podem observar que els resultats de les altres simulacions són prou bons i amb percentatges molt semblants, que, si no fos per això, estaríem parlant de percentatges a l'alçada dels obtinguts amb la distribució aleatòria. També hem de tenir en compte que a la realitat, els robots iniciaran i finalitzaran la seva tasca en els punts de càrrega, i aquests punts han d'estar endollats a la corrent, generalment a la paret, la qual és un obstacle. Per tant, aquesta distribució serà, gairebé amb total seguretat, la més utilitzada. Les gràfiques de progressió de punts treballats en el temps netegen la gran majoria de punts abans del minut 120.

4.8.3 Distribució dels punts

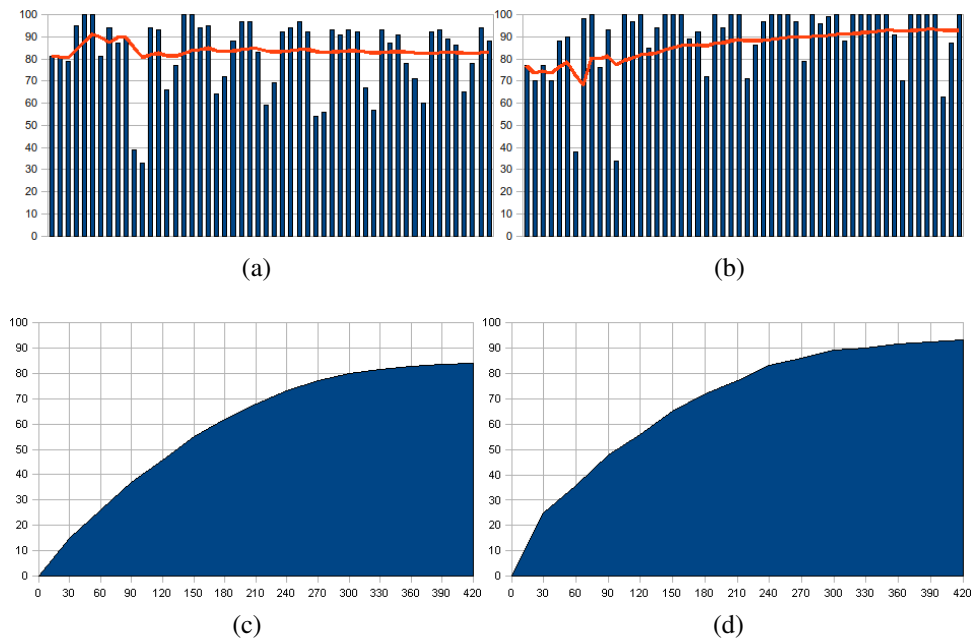


Figura 4.14: Les gràfiques 4.14a i 4.14b corresponen als punts treballats per cada simulació realitzada amb la distribució de punts aleatòria. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.14c i 4.14d mostren la progressió de punts treballats en el temps.

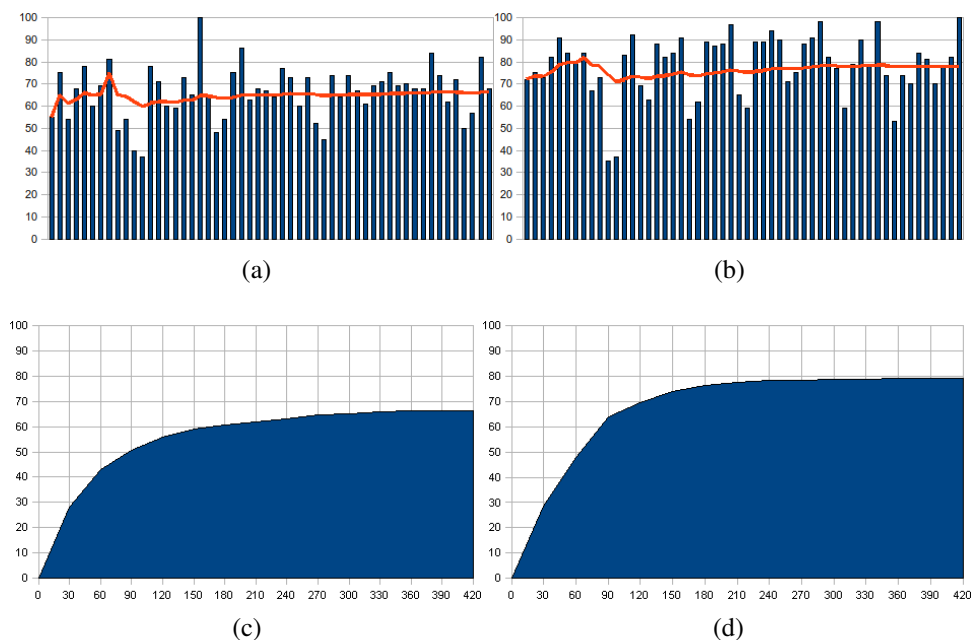


Figura 4.15: Les gràfiques 4.15a i 4.15b corresponen als punts treballats per cada simulació realitzada amb la distribució de punts en funció de l'escenari. En el cas de 4.15a estan distribuïts a prop de l'eix central horitzontal (passadís), i en el cas de 4.15b estan distribuïts a prop dels obstacles. La línia vermella representa el percentatge promig de punts treballats. Les gràfiques 4.15c i 4.15d mostren la progressió de punts treballats en el temps.

Exceptuant un parell de simulacions, els resultats en quant a percentatge de punts treballats amb la distribució de punts aleatòria són molt bons. Es neteges prop del 85% en l'oficina i per sobre del 90% en el magatzem. En aquest últim escenari, els valors obtinguts són molt constants, mentre que en l'oficina hi ha simulacions per sota del 60 i 70%, que fan que els resultats entre simulacions variïn bastant. Les gràfiques de progressió de punts treballats en el temps tenen un pendent més suau, el qual fa que, per netejar aproximadament el 90% de punts treballats calgui més temps (uns 210 minuts).

La distribució de punts en funció de l'escenari mostra uns resultats bastant pobres en l'escenari oficina (gràfica 4.15a), amb valors al voltant del 65% de punt netejats de promig, mentre que en l'escenari magatzem (gràfica 4.15b), sense ser uns resultats espectaculars, netegen aproximadament el 80% de punts. Les gràfiques de progressió tenen una tendència a estabilitzar-se a mesura que passa el temps, al contrari d'altres gràfiques com les 4.14c i 4.14d, que es veu clarament que la tendència és la de augmentar el nombre de punts localitzats si la durada de les bateries fos superior.

Capítol 5

Conclusions

En aquest tema exposarem les conclusions extretes de l'estudi realitzat. Primer descriurem els passos seguits per a la realització dels projecte i el seguiment temporal de cada tasca. Tot seguit, analitzarem els resultats obtinguts d'on en traurem les conclusions. Finalment, avaluarem el treball realitzat al llarg d'aquests 18 mesos i exposarem les dificultats trobades i les possibles millores del simulador.

5.1 Treball realitzat

Abans de comentar els resultats obtingut amb les simulacions i les conclusions a les que s'ha arribat, cal recordar el treball realitzat i els objectius als que es volia arribar amb aquest projecte.

Amb aquest projecte es volia fer un estudi del comportament social que sorgeix amb la interacció d'una colònia de robots autònoms programats per a netejar grans superfícies. Al principi, s'ha introduït al lector als eixams de robots, aplicació de la teoria de la intel·ligència d'eixams al camp de la robòtica, bàsica per entendre el tipus de comportament que volem assolir.

Tot seguit, s'ha determinat un robot capaç de realitzar la tasca de neteja de grans superfícies. S'ha realitzar un estudi en profunditat de les característiques del robot-exemple escollit [9], i hi hem afegit els components necessaris per a poder realitzar les tasques d'escombrar i de fregar les zones que ho requereixin. Aquestes dues tasques no les pot realitzar el mateix robot al mateix temps, però tots els robots són capaços de realitzar-

les. Qui determina quina acció realitzarà el robot és una lògica interna conduïda per una màquina d'estats abstracta (figura 4.3). Tots els components i les accions del robot han estat estudiades per extreure termes de consum energètic i temps per a la configuració del simulador.

S'ha modificat un simulador ja existent [5] incloent dos escenaris realistes (figures 4.1 i 4.2) on poder situar el projecte, un estat addicional a la màquina d'estats (figura 4.3) anomenat CHARGING destinat a la càrrega de la bateria dels robots un cop està per sota d'un llindar, i també hem afegit dos polítiques de cerca de zones susceptibles de ser netejades. Els dos escenaris mencionats són un magatzem i una zona de despatxos de l'Escola d'Enginyeria de la UAB. Per a cada escenari, s'han simulat diversos casos atenent a totes les combinacions dels elements següents: dues polítiques de cerca de zones brutes diferents, la primera aleatòria i l'altre també aleatòria, però amb atracció a zones d'alt gradient, tres distribucions inicials dels robots i dues distribucions inicials de zones brutes. Els paràmetres de configuració dels robots són els extrets de l'anàlisi del robot-exemple.

Finalment, hem realitzat les simulacions necessàries per extreure'n les conclusions que s'exposaran a la secció següent.

La planificació temporal (figura 1.1) s'ha intentat complir el màxim possible tot i que sempre sorgeixen impediments que fan que algunes tasques es retardin. La tasca que més retards ha sofert ha sigut la redacció de la memòria ja que sempre hi ha possibles modificacions i millores. Les altres tasques que han tingut alguna variació són les relacionades amb l'adaptació del simulador. La tasca destinada al estudi del simulador ha resultat ser més curta de lo esperat quan es va realitzar el diagrama de Gantt, que ha quedat totalment compensada amb la tasca destinada a la comprovació de les noves estratègies aplicades.

5.2 Anàlisi de resultats i conclusions

En aquesta secció analitzarem els resultats obtinguts separant per estratègies de cerca, distribució de robots i distribució de punts, comentant en cada cas les possibles raons dels resultats mostrats a les gràfiques. En l'apartat de conclusions determinarem quina combinació d'estratègies pot dur a millor resultats i n'estudiarem la viabilitat per una aplicació real.

5.2.1 Estratègies de cerca

En tots els casos es neteja aproximadament el 80% dels punts de mitjana.

En el cas de l'estratègia de cerca aleatòria (figures 4.9a i 4.9b), en el cas de l'oficina els resultats són bastant constants, és a dir, en poques ocasions s'arriba a netejar el 100% dels punts però en la majoria dels casos es superen el 70%, cosa que fa que ens moguem entre el 70 i el 90% de punts treballats en la gran majoria de simulacions. Per el magatzem, els resultats són molt més irregulars. S'arriba molts cops a netejar la totalitat de punts però ens molts altres no supera el 60%, cosa que es veu reflectida en la recta promig també.

Per l'estratègia aleatòria amb atracció a zones d'alt gradient (figures 4.10a i 4.10b), en l'oficina els resultats són molt semblants a l'estratègia aleatòria, tot i que una mica més irregulars. En el cas del magatzem sí que notem una millora en la recta promig gràcies a que les simulacions no són tan irregulars en quant percentatge de punts treballats i en la majoria de casos s'arriba al 70%.

En les dues estratègies de cerca analitzades s'arriben a netejar la majoria de punts aproximadament quan la bateria està al 50% de la seva capacitat (figures 4.9c, 4.9d, 4.10c i 4.10d). Això pot dur a al conclusió de que l'altre 50% restant no té el mateix rendiment. I és cert. El problema rau en el fet que en una simulació un és plenament conscient del nombre de punts a netejar, però en un escenari real no disposem d'aquestes dades, ni de la distribució dels punts (ens ho podem arribar a imaginar en funció de l'ús que se li dóna al escenari en qüestió), ni del nivell de brutícia de cada zona. És més, aquesta brutícia mai es generarà igual. Per això podríem dir que, simulador en mà, i un cop arribats en aquest punt on el nombre de punts trobats no varia significativament, el robot torni al punt de càrrega, de manera que s'estalviaria força energia.

Energèticament parlant (figures 4.9e i 4.10e), un robot treballant amb l'estratègia de cerca aleatòria, és capaç de treballar durant aproximadament 6'30 hores. A la gràfica podem observar que la recta comença a perdre pendent cap a les 4 hores de funcionament, on ja s'han treballat la majoria de punts i el rendiment decau les 2'30 hores restants de bateria. Quan treballa amb l'estratègia aleatòria amb atracció a zones d'alt gradient, la vida útil de la bateria s'allarga 30 minuts fins a les 7 hores, cosa que demostra que aquest algorisme és el més eficient energèticament. A partir de les 3 hores la recta s'estabilitza amb un

pendent gairebé constant, el que significa que els robots tenen un bon rendiment fins a aquest moment i que després trobar punts per netejar és més difícil. Això últim és bastant obvi ja que com més punts netejats, menys punts resten per ésser netejats.

5.2.2 Distribució de robots

Amb la distribució de robots aleatòria (figures 4.11a i 4.11b), en els dos escenaris neteja aproximadament el 85% dels punts i és bastant constant en el percentatge de punts netejats a cada simulació.

La distribució normal (figures 4.12a i 4.12b), en canvi, el rendiment és bastant inferior ja que neteja el 70% de punts, un 15% menys que amb la distribució aleatòria. Això pot ser degut a que tots els robots inicien la cerca molt pròxims entre ells i les zones allunyades no són visitades en la seva totalitat. En ambdós escenaris tenen pics de netejar menys del 50% dels punts i més del 90%. Això ho fa una distribució molt irregular.

La última distribució de robots analitzada, la distribució a prop dels obstacles (figures 4.13a i 4.13b), neteja un promig del 80% dels punts, tot i que hi ha simulacions que han netejat menys del 40% dels punts. El nombre d'aquestes simulacions és molt petit en comparació amb les simulacions realitzades i ho podríem considerar un cas aïllat, sense el qual el rendiment de l'algorisme s'assemblaria al de la distribució aleatòria. Aquesta distribució és la que en realitzar acabarà havent si es realitzés la neteja de grans superfícies amb eixams de robots, ja que el punt inicial dels robots estaria en els punts de càrrega de bateries, que en la gran majoria de casos aquests punts estan a les parets.

5.2.3 Distribució de punts

Amb una distribució de punts aleatòria (figures 4.14a i 4.14b), el percentatge de punts treballats són un 85% en el cas de l'oficina, i un 95% en el cas del magatzem. En el cas de l'oficina, tot i que pot semblar un bon resultat, el nombre de punts treballats difereix bastant en les simulacions encara que això no es vegi reflectit en la recta promig ja que aquestes diferències són cap a l'alça i cap a la baixa en proporcions semblants. En el cas del magatzem, els resultats són molt constants, en moltes ocasions neteja la totalitat dels punts i en la gran majoria sempre supera el 70%.

En la distribució de punts en funció de l'escenari (figures 4.15a i 4.15b), aquests percentatges baixen considerablement en un 15% en ambdós casos. En els dos escenaris els resultats són força estables.

5.2.4 Conclusions

Que els dos algorismes de cerca tinguin un rendiment semblant en quant a punts netejats ens dificultaria la presa de decisió sobre quin algorisme és més eficient i, possiblement, ens decantaríem cap a l'estratègia aleatòria ja que requereix menys càlcul i computacionalment és millor, però el fet que sigui menys eficient energèticament ens ha fet decantar-nos cap a l'estratègia aleatòria amb atracció cap a zones d'alt gradient.

Tenint en compte els casos de molt baix rendiment de la distribució de robots a prop dels obstacles, la distribució més eficient en quant a nombre de punts treballat seria la aleatòria, però també hem de tenir en compte que, a la realitat, la distribució de robots utilitzada segurament sigui la d'aprop dels obstacles i observem que, tot i tenir unes simulacions amb un rendiment molt baix, el rendiment global és molt semblant al aleatori.

Per a la distribució de punts també hem de tenir en compte quina distribució és la que més s'ajusta a la realitat i, tot i que té un rendiment molt inferior, hem de prendre com a referència aquestes dades.

El fet que es netegi entre un 70 i un 80% de les zones susceptibles de ser netejades, demostra que l'ús d'una colònia de robots no és suficient per poder assegurar la neteja del 100% de la superfície. Per solucionar aquest problema ens podríem plantejar fer ús d'un nombre de robots més grans, però això no ens asseguraria res i, fins i tot, podria fer que el percentatge no fóra superior. La solució podria estar en combinar els robots amb personal de neteja. Si més no, aquest personal s'encarregaria principalment del manteniment dels robots i de netejar les zones que els robots no són capaços de netejar.

5.3 Valoració final

Aquest treball és totalment teòric, i això pot fer que els resultats obtinguts amb el simulador difereixin dels resultats reals. S'ha intentat que la caracterització del robot-exemple sigui el més acurada possible, de manera que els consums dels components també ho

siguin. En alguns casos la manca d'informació pot fer que els consums no siguin els que corresponen.

La realització d'aquest projecte ha sigut molt enriquidora ja que estem parlant d'una aplicació de la informàtica en un tema que no s'havia aplicat fins ara en el transcurs de la carrera. Això demostra que la informàtica està present, i hi podem trobar aplicacions, fins i tot de la natura.

Bibliografia

- [1] Blum, C. et al., (2008), *Swarm Intelligence: Introduction and Applications*. Springer. 978-3-540-74088-9 .
- [2] Sahin, E. et al., (2004), *Swarm Robotics*. Springer. 3-540-24296-1.
- [3] Einstein, A., (1956), *Investigations on the Theory of the Brownian Movement*. Dover Publications, INC. 486-60304-0.
- [4] Sharkey, A.J.C., (2007), *Robots, insects and swarm intelligence*. Springer. 26:255-268.
- [5] Ribas, Ll. et al., (2008), *A framework for reconfigurable robot swarm simulation. Proc. of Physical Agents Workshop (WAF 2008)*.
- [6] Ribas, Ll. et al., (2010), *Estudio del comportamiento de una colonia de robot autónomos agricultores. Proc. of Physical Agents Workshop (WAF 2010)*.
- [7] Dorigo, M. et al., (1999), *Swarm Intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford University Press. 0-19-513158-4.
- [8] IntelliBot Web-Site: <http://www.intellibotrobotics.com>
- [9] iRobot Web-Site: <http://www.irobot.com>
- [10] Trilobite Web-Site: <http://trilobite.electrolux.com>
- [11] Karcher RC300 Web-Site: <http://www.karcher.de/es>

Signat:
Bellaterra, 22 de juny de 2010

Resum

La intel·ligència d'eixams és una branca de la intel·ligència artificial que està agafant molta força en els últims temps, especialment en el camp de la robòtica. En aquest projecte estudiarem el comportament social sorgit de les interaccions entre un nombre determinat de robots autònoms en el camp de la neteja de grans superfícies. Un cop triat un escenari i un robot que s'ajustin als requeriments del projecte, realitzarem una sèrie de simulacions a partir de diferents polítiques de cerca que ens permetran avaluar el comportament dels robots per unes condicions inicials de distribució dels robots i zones a netejar. A partir dels resultats obtinguts serem capaços de determinar quina configuració genera millors resultats.

Resumen

La inteligencia de enjambre es una rama de la inteligencia artificial que esta cogiendo mucha fuerza en los últimos tiempos, especialmente en el campo de la robótica. En este proyecto estudiaremos el comportamiento social generado de las interacciones entre un número determinado de robots autónomos en el campo de la limpieza de grandes superficies. Una vez escogido el escenario y un robot que se ajusten a los requerimientos del proyecto, realizaremos una serie de simulaciones a partir de diferentes políticas de búsqueda que nos permitirán evaluar el comportamiento de los robots para unas condiciones iniciales de distribución de los robots y zonas a limpiar. A partir de los resultados obtenidos seremos capaces de determinar que configuración genera mejores resultados.

Abstract

Swarm intelligence is a branch of artificial intelligence that is picking up strongly in recent times, especially in the field of robotics. This project will study the social behavior generated from the interactions between a number of autonomous robots in the field of large surfaces cleaning. Once chosen a scenario and a robot that meet the requirements of the project, we will conduct a series of simulations using different search policies that allow us to evaluate the behavior of the robots for an initial conditions of robots distribution and areas to clean. From the results we will be able to determine which configuration yields better results.